

HYDROGEOLOGIE DES NÖRDLICHEN
REGNITZTALES UNTER BESONDERER
BERÜCKSICHTIGUNG GEOCHEMISCHER
UND
SEDIMENTOLOGISCHER ASPEKTE

von

Dawud Ghawami-Teherani
aus Teheran / Iran



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546220_0001

HYDROGEOLOGIE DES NÖRDLICHEN REGNITZTALES UNTER BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG GEOCHEMISCHER UND SEDIMENTOLOGISCHER ASPEKTE

Den naturwissenschaftlichen Fachbereichen der
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen - Nürnberg

zur

Erlangung des Doktorgrades

vorgelegt von
Dawud Ghawami-Teherani
aus Teheran / Iran

Als Dissertation genehmigt von den
Naturwissenschaftlichen Fachbereichen
der Universität Erlangen-Nürnberg



Tag der mündlichen Prüfung: 21. Juli 1976

Vorsitzender der Promotionskommission:

Professor Dr. H. Remmert

Erstberichterstatter:

Privatdozent Dr. K.G. Poll

Zweitberichterstatter:

Professor Dr. F. Birzer

I N H A L T S V E R Z E I C H N I S

	Seite
Vorwort	9
Erster Teil: Allgemeine Übersicht	
1. Geographischer und geologischer Überblick	13
2. Kurze Beschreibung der Schichtenfolge (Stratigraphie)	21
2.1. Trias.	21
2.1.1. Unterer Burgsandstein (kbu)	21
2.1.2. Mittlerer Burgsandstein (kbm).	21
2.1.3. Oberer Burgsandstein (kbo).	22
2.1.4. Feuerletten (Knollenmergel, kf)	23
2.1.5. Rhätolias (Rätolias).	24
2.2. Jura	25
2.2.1. Lias	25
2.2.2. Dogger	28
2.2.3. Malm	31
2.3. Quartär	34
2.3.1. Pleistozän (Diluvium)	34
2.3.1.1. Hochterrasse	35
2.3.1.2. Niederterrasse.	40
2.3.1.3. Flugsand.	44
2.3.2. Holozän	48
2.3.2.1. Vorterrasse (ältere fluviatile Ablagerungen)	48
Zweiter Teil: Sedimentologie	
3. Sedimentpetrographische und schwer-mineralanalytische Untersuchungen	52
3.1. Problematik der Probenentnahme	52
3.2. Methodik.	55
3.3. Auswertung der Analysen und kurze Beschreibung der Mineralien	59
3.3.1. Hauptgruppen der Schwermineralien	59
3.3.1.1. Zirkon	59

	Seite
3.3.1.2. Turmalin.	60
3.3.1.3. Anatas	61
3.3.1.4. Apatit	61
3.3.1.5. Rutil.	63
3.3.1.6. Granat	63
3.3.2. Nebengruppen der Schwermineralien	64
3.4. Vertikale Schwermineralführung	65
3.5. Horizontale Schwermineralführung.	71
3.5.1. Änderung in der Hochterrasse	71
3.5.2. Änderung in der Niederterrasse	73
3.5.3 Änderung in den Flugsanden.	75
3.5.4. Änderung in der Vorterrasse	77

Dritter Teil: Hydrogeologie

4. Hydrogeologische Gegebenheiten	81
4.1. Wasserstauende Ablagerungen	84
4.2. Wasserleitende Ablagerungen	86
5. Methodik und Problematik der Probennahme . . .	89
5.1. Allgemeine Vorarbeiten	89
5.2. Quellwasser-Entnahme.	95
5.3. Fließende Gewässer	97
5.3.1. Probeentnahme an Flüssen	97
5.3.2. Einzugsgebiete der Regnitz-Zuflüsse. . . .	99
5.4. Probenahme des offenen Grundwassers. . . .	106
6. Physikalische, elektrochemische und physikalisch-chemische Bestimmungen an der Entnahmestelle	107
6.1. Visuelle Bestimmungen	107
6.2. Instrumentelle Bestimmungen	108
6.2.1. pH-Wert	108
6.2.2. Messung des Sauerstoffgehaltes	109
6.2.3. Messung der elektrischen Leitfähigkeit. . .	109
7. Methodik chemischer Analysen im Labor . . .	110
7.1. Halbquantitative Analysen	110
7.2. Quantitative Vollanalysen	111

	Seite
7.2.1. Kationen.	111
7.2.1.1. Calcium-Bestimmung	111
7.2.1.2. Magnesium-Bestimmung.	112
7.2.2. Anionen	113
7.2.2.1. Chlorid-Bestimmung	113
7.2.2.2. Sulfat-Bestimmung.	114
7.2.3. Meßanalytische Bestimmung der Gesamthärte (GH)	114
7.2.4. Bestimmung der Karbonathärte (KH)	115
7.2.5. Organische Substanzen im Wasser (CSV)	116
7.3. Sporadisch vorgenommene Analysen.	117
8. Chemische und physikalische Entwicklung der fließenden Gewässer im nördlichen Regnitztal	118
8.1. Härtevergleich der Regnitz-Zuflüsse.	119
8.1.1. Allgemeines.	119
8.1.2. Gegenüberstellung der östlichen und west- lichen Regnitz-Zuflüsse.	121
8.2. Phosphatgehalt (PO_4^{3-})	124
8.3. Nitritgehalt (NO_2^-)	128
8.4. Eisengehalt ($\text{Fe}^{2/3+}$).	133
8.5. Chloridgehalt (Cl^-)	137
8.6. Kieselsäuregehalt (SiO_2)	142
8.7. pH-Werte der fließenden Gewässer.	144
8.8. Organische Substanzen im Wasser (CSV)	148
8.9. Beurteilung der fließenden Gewässer in bezug auf ihre Ca-, Mg-, SO_4^- und Cl- Ionenkonzentration	151
9. Relation und Einfachkorrelation von elek- trischer Leitfähigkeit, Wassertemperatur, Gesamthärte, Chlorid- und Sauerstoffge- halt unter Berücksichtigung des Wasser- standes an Hand eines Beispiels	159
10. Quellen	164
10.1. Allgemeine Vorbemerkungen	164
10.2. Hydrographisches Verzeichnis	166
10.3. Ergiebigkeitsschwankungen	170
10.3.1. Quelle bei Hohenmühle	172

	Seite	
10.3.2. Quelle bei Roßdach	176	
10.3.3. Ochsenquelle bei Wiesenthau	181	
10.4. Gegenüberstellung der Wasserhärte der Lias-, Dogger- und Malmquellen	185	
11. Grundwasser.	188	
11.1. Wasserführung in den porigen Grundwasser- leitern der fluviatilen Sedimente	189	
11.2. Abhängigkeit des Grundwassers vom Niederschlag	190	
11.2.1. Grundwasserstand im Raum Bamberg.	190	
11.2.2. Grundwasserstand zwischen Forchheim und Strullendorf	206	
11.3. Verhältnis von Chlorid zu Sulfat und Härte im offenen Grundwasser	215	
11.4. Charakteristische Faktoren der Grundwas- serproben bei Hirschaid, Seußling und Unterstürmig	218	
11.5. Gegenüberstellung der Wasserhärte der drei Grundwasserproben.	221	
Exkurs: Meteorologische Daten		
12. Witterungsverhältnisse im gesamten Unter- suchungsgebiet und dessen Umgebung	225	
12.1. Klimatische Entwicklung im Jahr 1973	228	
12.2. Klimatische Entwicklung im Jahr 1974	231	
12.3. Klimatische Entwicklung im Abfluß- jahr 1974-75	234	
13. Zusammenfassung	252	
Literaturverzeichnis.	264	
Anhang: Analysen-Tabellen mit sämt- lichen hydrochemischen und physikalischen Meßdaten aller Entnahmestellen.		270 bis 308

Verzeichnis der Abbildungen (Titel in sinngemäßer
Abkürzung)

Abb.	1: Entnahmestellen der Sandproben	36
Abb.	2: Korngrößenverteilung in der NT	39
Abb.	3: Korngrößenverteilung in der HT	43
Abb.	4: Korngrößenverteilung in der VT	47

	Seite
Abb. 5a: Übersicht über die Proben Nr. 1a-7a . . .	53
Abb. 5b: Übersicht über die Proben Nr. 7b-17a. . .	54
Abb. 6a: Schwerminerale in Prozent.	57
Abb. 6b: Schwerminerale in Prozent.	58
Abb. 7 : Ausgewählte Lage für die Schwer- mineraluntersuchungen.	66
Abb. 8 : Schwermineralgehalt der einzelnen Lagen.	68
Abb. 9 : Vertikale Schwermineralführung.	70
Abb. 10 : Horizontale Schwermineralführung in HT .	72
Abb. 11 : Horizontale Schwermineralführung in NT .	74
Abb. 12 : Horizontale Schwermineralführung in den Flugsanden	76
Abb. 13 : Horizontale Schwermineralführung in VT .	79
Abb. 14 : Lage aller Quellen, Brunnen, Bohrungen und Flüsse	83
Abb. 15 : Position und Nummer der Meßstationen. .	91
Abb. 16 : Stratigraphie und Art der Wasserproben .	92
Abb. 17 : Hydrographisches Verzeichnis der Zuflüsse	94
Abb. 18 : Natürlicher Verlauf der Zuflüsse . . .	100
Abb. 19a: Verzeichnis aller Probenahmestellen . .	103
Abb. 19b: Fortsetzung von Abb. 19a.	104
Abb. 20 : Härtevergleich der Regnitz-Zuflüsse . .	123
Abb. 21 : Phosphatgehalt im Jahresdurchschnitt. .	125
Abb. 22 : Phosphatgehalt im Monatsdurchschnitt. .	127
Abb. 23 : Nitratgehalt im Monatsdurchschnitt . .	132
Abb. 24 : Eisen- und Nitritgehalt im Jahres- durchschnitt.	134
Abb. 25 : Chloridgehalt im Monatsdurchschnitt . .	138
Abb. 26 : Chloridgehalt im Jahresdurchschnitt . .	141
Abb. 27 : SiO ₂ -Gehalt im Jahresdurchschnitt. . .	143
Abb. 28 : pH-Werte der Fließgewässer	147
Abb. 29 : Organische Substanzen im Wasser . . .	150
Abb. 30 : Ca-, Mg- und SO ₄ -Ionen in den west- lichen Zuflüssen	154
Abb. 31 : Ca-, Mg- und SO ₄ -Ionen in den öst- lichen Zuflüssen	156
Abb. 32 : Veränderungen der Ca-, Mg- und SO ₄ - Ionen im Deichselbach.	159

	Seite
Abb. 33 : Entwicklung von GH, LF, tw, Cl- und O ₂ -Gehalt in bezug auf Wasserstand . .	161
Abb. 34 : Schüttungen der Quellen von Viereth, Roßdach und Wiesenthau im Jahr 1974 . .	168
Abb. 35 : Schüttungen der drei Quellen 1975. . .	169
Abb. 36 : Ergiebigkeit der Quelle Hohenmühle . .	173
Abb. 37 : Schüttungsliste der Quelle bei Hohenmühle im Winterhalbjahr 1975	174
Abb. 38 : Schüttungsliste der Quelle bei Hohenmühle im Sommerhalbjahr 1975	175
Abb. 39 : Ergiebigkeit der Quelle Bei Roßdach . .	178
Abb. 40 : Schüttungsliste der Quelle bei Roßdach im Winterhalbjahr 1975. . . .	179
Abb. 41 : Schüttungsliste der Quelle bei Roßdach im Sommerhalbjahr 1975. . . .	180
Abb. 42 : Ergiebigkeit der Ochsenquelle	182
Abb. 43 : Schüttungsliste der Ochsenquelle im Winterhalbjahr 1975	183
Abb. 44 : Schüttungsliste der Ochsenquelle im Sommerhalbjahr 1975	184
Abb. 45 : Härtevergleich der Lias-, Dogger- und Malmquellen	187
Abb. 46 : Grundwassermeßwerte für die Abflußjahre 1973-74 und 1974-75, Meßstation Rattelsdorf I	191
Abb. 47 : Grundwassermeßwerte von Rattelsdorf II .	192
Abb. 48 : Grundwassermeßwerte von Rattelsdorf VI .	193
Abb. 49 : Grundwassermeßwerte von Gaustadt . . .	195
Abb. 50 : Grundwassermeßwerte von Dörfleins. . .	196
Abb. 51 : Grundwassermeßwerte von Oberhaid . . .	198
Abb. 52 : Grundwassermeßwerte von Unterhaid. . .	200
Abb. 53 : Grundwassermeßwerte von Hallstadt. . .	202
Abb. 54 : Grundwassermeßwerte von Bischberg. . .	204
Abb. 55 : Grundwasserstand im Raum Bamberg . . .	205
Abb. 56 : Grundwassermeßwerte von Strullendorf. .	207
Abb. 57 : Grundwassermeßwerte von Pettstadt. . .	209
Abb. 58 : Grundwassermeßwerte von Pommersfelden .	211
Abb. 59 : Grundwassermeßwerte von Sigritzau. . .	213
Abb. 60 : Grundwasserstand zwischen Forchheim und Strullendorf	214

	Seite
Abb. 61 : Beziehung von Chlorid zu Gesamthärte und Sulfat	216
Abb. 62 : Ca-, Mg-, Cl- und SO ₄ -Ionen, LF und pH-Werte in den drei Grundwasserproben .	220
Abb. 63 : Härtevergleich der drei Grundwasser- proben.	223
Abb. 64a: Witterungsverhältnisse 1973.	229
Abb. 64b: Fortsetzung von Abb. 64a.	230
Abb. 65a: Witterungsverhältnisse 1974.	232
Abb. 65b: Fortsetzung von Abb. 65a.	233
Abb. 66a: Witterungsverhältnisse 1975.	235
Abb. 66b: Fortsetzung von Abb. 66a.	236
Abb. 67 bis 105: Meßergebnisse sämtlicher hydro- logischer Analysen	270 bis 308

VORWORT

Die vorliegende Arbeit befaßt sich im wesentlichen mit der Ermittlung und Zusammenstellung aller hydro-geologischer Daten des nördlichen Regnitztales - eines geologisch homogenen Raumes - zwischen Forchheim und Viereth mit seinem Wassereinzugsgebiet. Ein weiteres Ziel ist die chemische Analyse sowohl der Oberflächen- als auch der Grundwässer.

Dem Kern des Untersuchungsgebietes wurden die topographischen Karten von Buttenheim und Bamberg-Süd (Blatt-Nr. 6132 und 6131) im Maßstab 1:25.000 zugrundegelegt. Von den sich nach Norden hin anschließenden Blättern kommt nur jeweils die Südhälfte von Blatt Eltmann (Nr. 6030), Bamberg-Nord (Nr. 6031) und Scheßlitz (Nr. 6032) in Betracht. Im Südteil des Arbeitsgebietes dagegen wurde der Nordteil der topographischen Blätter Adelsdorf (Nr. 6231) und Forchheim (Nr. 6232) mit in die Untersuchungen einbezogen. Als Hilfsblätter dienten die Karten der Gebiete um Burgebrach (Nr. 6230) und Höchstadt an der Aisch (Nr. 6230).

An dieser Stelle muß jedoch angemerkt werden, daß von den oben genannten sieben topographischen Karten bis jetzt nur sechs auch als geologische Werke veröffentlicht sind, obwohl die Aufnahme der Blätter schon sehr früh begonnen wurde (z.B. Blatt Forchheim, 1:25.000 durch K. KRUMBECK 1935 bis 1938 und Blatt Bamberg-Süd durch M. LANG 1934 bis 1937). Blatt Buttenheim dagegen ist bis jetzt als einziges nur teilweise geologisch untersucht worden, und zwar wurden die Südhälfte 1972 von dem Autor und der nord-östliche Teil, das Malmgebiet, von SCHÜTZ kartiert.

Beide Untersuchungen einschließlich der dazugehörigen Karten liegen dem Geologischen Institut der Universität Erlangen bereits als unpublizierte Arbeiten vor.

Zusätzlich zu den geologischen Arbeiten auf Blatt Buttenheim wurden im südwestlichen Teil des Gebietes die Terrassensande der Regnitz schwermineral-analytisch untersucht, Forschungen, deren Auswertungsergebnisse hier teilweise berücksichtigt werden sollen. Derartige sedimentologische Untersuchungen wurden auch in der vorliegenden Arbeit noch einmal gründlicher und umfassender, auf den gesamten Bereich des Tales von Eggolsheim bis zur südlichen Main-Vorterrasse bei Hallstadt ausgedehnt, vorgenommen.

Die zahllosen Bäche und Flüsse gerade in diesem Bereich des Regnitztales und insbesondere die wasserreichen Zuflüsse mit ihren verschiedenen Ursprungsgebieten boten die beste Gelegenheit, die Gewässer dieses Gebietes, zumindest die unmittelbaren Regnitzzuflüsse in ihrem Verlauf, so weit möglich von der Quelle bis zur Einmündung auf ihre hydrochemischen Veränderungen hin zu beobachten und zu analysieren. An Hand umfangreicher chemischer und mineralogischer Untersuchungsergebnisse und deren Auswertung ist versucht worden, die zum Teil recht komplizierten hydrogeologischen Verhältnisse in diesem Raum durch langfristig gesammelte Untersuchungsergebnisse in möglichst anschaulicher Form darzustellen.

Da Hauptaufgabe und Hauptbereich der vorliegenden Arbeit aus hydrogeologischen und hier wiederum speziell geochemischen Untersuchungen im Bereich des nördlichen Regnitztales bestehen, sollen Sedimentologie und Geologie nur in möglichst kleinem Rahmen kurz diskutiert werden. Die Ergebnisse dieses Abschnittes stützen sich

zum großen Teil auf eigene frühere Arbeiten in diesem Gebiet und dessen nächster Umgebung, sowie in etwas geringerem Maße auf das intensive Studium der einschlägigen Literatur. Der hydrologische Teil der Arbeit dagegen basiert ausschließlich auf eigenen Beobachtungen und Messungen, sowie Gelände und Laborarbeiten.

Für die Überlassung des Themas und die Förderung der Arbeit von ihrem Beginn bis zur endgültigen Fertigstellung bin ich Herrn Privatdozent Dr. Kurt Gerhard POLL zu größtem Dank verpflichtet, da er mir stets in jeglicher Beziehung mit Rat und Tat zur Seite stand und durch die Einrichtung eines kompletten hydrogeologischen Labors die Durchführung der Forschungen überhaupt erst ermöglichte. Herrn Professor Dr. F. BIRZER danke ich herzlich für zahlreiche wertvolle Unterredungen und sein Interesse, mit dem er den Fortgang meiner hydrogeologischen Arbeiten verfolgte. Für ständige kollegiale Zusammenarbeit in organisatorischer Hinsicht, sowie für viele nützliche Diskussionen über im Laufe der Arbeit entstandene Probleme danke ich Herrn Diplom-Mineralogen F. ZIAIFANNI. Für die Überlassung zahlreicher wertvoller Unterlagen bin ich dem Leiter des Wetteramtes sowie den Beamten des Wasserwirtschaftsamtes in Bamberg, Herrn BÖHM und Herrn WALTHER verbunden. Schließlich schulde ich der Deutschen Forschungsgemeinschaft Dank, die durch einjährige finanzielle Unterstützung Beginn und Fortlauf der vorliegenden Arbeit entscheidend gefördert hat.

ERSTER TEIL

ALLGEMEINE ÜBERSICHT

1. Geographischer und geologischer Überblick

Das vorliegende Arbeitsgebiet, gelegen zwischen $49^{\circ}44'$ und $49^{\circ}58'$ nördlicher Breite, sowie $10^{\circ}20'$ und $11^{\circ}10'$ östlicher Länge, umfaßt ca. 500 km^2 (vgl. Abb. 1). Kommunalpolitisch betrachtet, gehört das Gebiet mit seinen drei Landkreisen Forchheim, Bamberg und Ebermannstadt zum Regierungsbezirk Oberfranken mit Verwaltungsbezirken in Bamberg und Forchheim.

Das Regnitztal verläuft mit seinen 145° Streichen fast herzynisch durch das Arbeitsgebiet und bildet bis zur Einmündung des Flusses in den Main zugleich - mit zwei kleinen Ausnahmen - die stratigraphische Grenze des Keupers gegenüber der östlich liegenden Juralandschaft. Morphologisch gesehen, läßt sich das Kartenblatt in einen höher liegenden Teil im Osten und einen im allgemeinen niedrigeren Abschnitt im Westen gliedern. Der höchste Punkt des Gebietes ist im Nordosten bei Geißberg (oder Geisberg) mit 584,8 m üNN zu suchen, die niedrigste Stelle des Geländes liegt im nördlichen Abschnitt bei Bischberg mit 233,0 m üNN. Im Tal selbst ist darüber hinaus ein Höhenunterschied von etwa 20 m von Süden nach Norden festzustellen, eine Differenz, die man auch als das Gefälle der Regnitz bezeichnen kann. Einen rapiden Höhenanstieg weisen die letzten 100 bis 160 m im Ostteil des Gebietes auf, ein Phänomen, das nur auf den etwa 80 m mächtigen Doggersandstein und das darauffolgende Malmpaket zurückzuführen ist. Im Westteil zeigt sich dagegen das Gebiet im Vergleich zum Ostteil wesentlich ausgeglichener. Es liegt im allgemeinen etwa 300 m hoch, selten höher als 350 m. Der höchste Punkt allerdings findet sich mit 350 m üNN

im Michaelsberger Wald 1,5 km südwestlich von Bamberg.

Mehr als die Hälfte des Untersuchungsgebietes besteht aus Obstkulturen, Ackerland und Weiden, die oft die engen Mäander und die maximal bis zu 4,5 km breiten Quartärterrassen bedecken. Die Waldflächen des Arbeitsgebietes erstrecken sich weit und breit sowohl über die mächtigen Doggersandstein-Schichten im Ostteil als auch über die stark eingerumpften und flachwelligen Keuperflächen des Westteils, wo sie zum großen Teil aus Nadelbäumen bestehen.

Die im Gebiet vorkommenden kalk- und mergelreichen Lias- und Dogger-Alpha-Böden eignen sich besonders für die Landwirtschaft und werden auch vorwiegend in diesem Sinne genutzt. Wenn hier Wald überhaupt vorkommt, so handelt es sich in der Regel nur um kleine Bestände von Mischwäldern.

Verkehrstechnisch ist das Gebiet gut (z.B. im Osten und Nordosten) bis sehr gut (insbesondere der Raum um Bamberg) erschlossen. Durch den laufenden Aus- und Neubau von Querverbindungen und Kreisstraßen wird das Verkehrsnetz immer dichter und gewährleistet so in sehr gutem Maße die verkehrsmäßige Erschließung dieses Raumes. Eine Reihe von kleineren, aber doch gut ausgebauten Seiten- und Nebenstraßen verbindet kleine und kleinste Ortschaften und Dörfer mit der Bundesstraße 4 oder Bundesstraße 505, den meistbefahrenen Strecken im oberfränkischen Raum. Die Bundesstraße 4 verläuft in Nord-Süd-Richtung von Coburg über Bamberg nach Nürnberg. Die Bundesstraße 505 dagegen stellt eine sehr gute ausgebaute Verbindungsstrecke zwischen der Autobahn Nürnberg -

Würzburg und den Bundesstraßen 22, 26, 173, 279, 289 und 303 dar, die das gesamte nördliche Mittel- sowie Oberfranken durchziehen. Straßen und andere Hauptverkehrswege folgen im großen und ganzen dem natürlichen Verlauf der Flüsse, zeigen jedoch keine größeren Gefälle oder gefährliche Kurven.

Außer einer zweigleisigen Bahnstrecke zwischen Nürnberg und Bamberg sind noch mehrere kleine Bahnstrecken vorhanden, die in West-Ost-Richtung Höchststadt über Forchheim mit Ebermannstadt und Schlüsselfeld oder Ebrach über Bamberg mit Scheßlitz verbinden. Von dem Bahnknotenpunkt Bamberg aus besteht die Möglichkeit, in nordöstlicher Richtung nach Saalfeld, in nördlicher nach Coburg, in nordwestlicher nach Maroldsweisach und in westlicher Richtung nach Schweinfurt zu gelangen. In allen genannten Städten besteht natürlich die Möglichkeit, noch weitere Anschlüsse an nächstkleinere oder -größere Ortschaften zu bekommen. Nebenbei mag erwähnt werden, daß im Rahmen des großen Sanierungsprogramms der Deutschen Bundesbahn im fränkischen Raum unrentable Strecken wie Forchheim - Höchststadt, Forchheim - Behringersmühle oder Strullendorf - Schlüsselfeld in wenigen Jahren stillgelegt werden sollen.

Unter den Flüssen des Gebietes spielt nur der im Bau befindliche Rhein-Main-Donau-Kanal eine wesentliche wirtschaftliche Rolle. Auf diesem Wasserweg werden hauptsächlich Kohle und Baustoffe wie Kies oder Sand befördert. Da Sandgruben sich ausnahmslos in unmittelbarer Nähe des Kanals befinden, ist der ausgedehnte Transport solcher Materialien auf der Wasserstraße wesentlich wirtschaftlicher als der anderer Güter.

Wegen des Höhenunterschieds von fast 20 m im nördlichen Regnitztal mußten zur Regulierung des Wasserstandes im Kanal zwangsläufig mehrere Schleusen, z.B. bei Bamberg, Sassanfahrt, usw. angelegt werden. Da der Kanal hier östlich der Regnitz liegt, werden die im Ostteil des Gebietes entspringenden Zuflüsse der Regnitz unter dem Kanal hindurch zur Regnitz geleitet, damit das Wasser im Kanal seinen normalen Stand immer beibehält. Wenn, wie das stellenweise der Fall ist, Regnitzwasser voll in den Kanal geleitet wird, erfolgt die Regulierung des Kanalwasserstandes durch die eingebauten Schleusen.

Als Transportwege haben die Flüsse keine besondere Bedeutung. Allenfalls werden sie durch den Bau kleiner Staudämme zu landwirtschaftlichen Zwecken genutzt.

Entsprechend den geologischen und morphologischen Gegebenheiten besonders im Keuperland auf Blatt Adelsdorf wird oft eine Reihe von Weihern aufgestaut, die sich sehr gut zur Fischzucht eignen.

In bezug auf den geologischen Aufbau des Gebietes ist die Regnitz mehr oder weniger als eine Formationsgrenze anzusehen, die Trias im Westen und Jura im Osten voneinander trennt. Dies gilt, allerdings mit gewissen Einschränkungen, nur für den Bereich des nördlichen Regnitztales, d.h. den Raum zwischen Eggolsheim und Bamberg. Einerseits finden sich kleinere inselförmige Liasablagerungen mitten in der Keuperlandschaft des Westens, andererseits liegt ein schmaler Streifen des oberen Keupers (Rhätolias?) im Ostteil. Bereits südlich von Eggolsheim (z.B. auf dem Blatt Adelsdorf) verlagert sich die Formationsgrenze um einige Kilometer nach Westen.

Als älteste anstehende stratigraphische Einheit ist in dem vorliegenden Gebiet in starkem Maße der Untere Burgsandstein vertreten. Die älteren Schichten wie der untere Keuper sind nur durch Bohrungen oder aber auch weiter im Westen bis Südwesten an der Erdoberfläche nachzuweisen. Die gesamte Mächtigkeit des Keupers im Raum Bamberg ist mit 438 m angegeben worden (U. EMMERT 1964). Sie reduziert sich allerdings nach Süden hin sehr rasch, so daß sie z.B. bei Forchheim nur noch 373 m beträgt. Fast alle bewaldeten flachwelligen Höhen im Westteil des Arbeitsgebietes sind von Sandsteinen des Keupers gebildet, dessen Schichten sehr sanft mit 1° - 4° nach Osten abfallen und von vielen west-östlich gerichteten Tälern geteilt werden. Sie sind zum größten Teil, besonders nach den Talauen hin, mit metermächtigen quartären Ablagerungen aufgefüllt.

Engere Täler, rasche Zunahme der Geländehöhe am Ende einer breiten schwarzen Tonebene, steile, weiße, kieselige oder gar dolomitisierte Kalkfelsen sind charakteristische Merkmale der Ostflanke des Regnitztales gegenüber dem Gebiet im Westen. Die Lias-Ebene, meist nur durch die Lias-Delta-Ablagerungen gebildet, besteht im allgemeinen aus dunklen Tönen und Mergelschiefern, durchzogen von einigen Kalkbänken. Für den Dogger typisch sind seine mächtigen, überall bewaldeten Sandsteinbänke mit zahllosen Quellen an seiner Untergrenze, und zwar dort, wo gerade die mächtigen Ton-Ablagerungen des Dogger-Alpha aufhören. Der landschaftlich besonders reizvolle Teil des Gebietes liegt ohne Zweifel im Ostteil, wo sich Dolomit- und Kalkkuppen des Malms mit seinen durchwegs hellen Gesteinen über die schwarzen Tone des Lias und die braunen Sandsteine des Dogger erheben.

Wie bei der Untergrenze des Dogger-Beta treten auch hier oft Quellen auf, die wegen der mächtigen Kalkschichten auch sehr wasserreich sein können, ein Grund, weshalb sie seit Jahren zu den Wasserschutzgebieten Oberfrankens zählen. Die in diesem Bereich des Gebietes entspringenden Quellen besitzen im allgemeinen sehr enge Austrittsstellen, sind zum Teil ergiebig und weisen eine mehr oder weniger konstante physikalische und chemische Beschaffenheit und hohe Güte auf, weshalb sie eher für die Trinkwasserversorgung und sonstige Nutzung durch Haushalte geeignet sind als für landwirtschaftliche oder industrielle Zwecke.

Bezüglich Tektonik und Lagerungsverhältnissen ähnelt das vorliegende Gebiet der normalen Lagerung in der Frankenalb. Die allgemeine Lagerung zeigt ein generelles Einfallen der Schichten nach Osten bis Südosten hin. Das Gefälle beträgt im Durchschnitt zwischen 1° und 4° - der Einfallswinkel ist in über 70% des Gebietes nur 2° bis 4° -. Es handelt sich dabei natürlich nur um einen ziemlich grob verallgemeinerten Wert, von dem manche Abweichungen festzustellen sind; denn die Gesteinsschichten des Untergrundes sind nicht nur ebenflächlich gelagert, sondern auch vielfach verbogen (z.B. Raum Pegnitz und Wiesent-Tal) und bruchtektonisch versetzt.

Die wohl wichtigste, längste und zugleich bekannteste Störung des Gebietes ist der Talrandbruch längs des steilen Westrandes des nördlichen Regnitztales. Mit einer Sprunghöhe von 30 - 40 m (B.v. FREYBERG 1955) streicht sie zunächst mit ca. 170° an der Westseite des Maintales bei Baunach südwärts. Ab Bamberg verläuft sie mit etwa 145° weiter nach Süd-

westen, um dann später westlich von Sassanfahrt direkt wieder in südlicher Richtung das Arbeitsgebiet zu verlassen. Abgesehen von der Main-Regnitzstörung sind eine Reihe kleinere Verwerfungen festzustellen, die zum Teil herzynisch oder gar senkrecht zur Regnitz verlaufen. Zwischen Höfen und Bug im Bruderwald liegt ein etwa 2 km² großes Störungsgebiet, das von drei Seiten mit nachgewiesenen oder vermuteten Störungen eingegrenzt wird. Im Norden sind Feuerletten und Rhätolias anzutreffen, wohingegen im Westen der Feuerletten direkt neben dem Oberen Burgsandstein liegt. Die Südostflanke ist hier gegen den nördlichen Teil bis zu 50 m abgesunken.

Südlich dieses Teilgebietes, bereits auf Blatt Adelsdorf, sind mehrere Störungen nachgewiesen (u.a. durch KRUMBECK 1956, HAARLÄNDER 1963), von denen die wichtigsten hier kurz behandelt werden sollen. Die herzynisch streichende Störung westlich von Rittersberg, wo Lias-Alpha 2 neben dem Oberen Burgsandstein ansteht, wurde außerdem durch mehrere Bohrprofile an verschiedenen Stellen mit einer Sprunghöhe bis 70 m gemessen. Die Rittersberger Verwerfung mit ihrem steil herzynischen Verlauf weist eine Sprunghöhe von 25 m auf. Hier stehen Lias-Beta und Tonsteine des Rhätolias nebeneinander an. Die Kreuzberger und Ösdorfer Störungen in diesem Raum besitzen in etwa einen gleichen Verlauf und gleiche Sprunghöhe. Die Fortsetzung der beiden Störungen ist nur bis zu 2 - 3 km festzustellen.

Die einzig nennenswerte Störung auf Blatt Forchheim liegt in Ost-Nordwest-Richtung fast in der Mitte des Blattes. Durch die Pautzfelder-Kirchrehnbacher Verwerfung ist die Nordflanke etwa 30 - 50 m

gegen die Südflanke abgesunken, so daß sich im Ostteil Lias-Alpha drei und Lias-Delta, im Westteil Feuerletten und Lias-Alpha zwei gegenüberstehen. Die kleinere, um einige 100 m lange Störung auf diesem Abschnitt des Gebietes spielt im Rahmen dieser Betrachtung keine nennenswerte Rolle.

Bedeutender sind dagegen die drei Verwerfungen auf dem nördlich davon gelegenen Blatt Buttenheim. Die Störung nordwestlich von Dreuschendorf, bei der die Nordflanke die Lias-Epsilon-Kalkbänke ca. 45 m nach Südosten gegen den Dogger-Alpha verwirft. Die Sprunghöhe dieser Verwerfung, die südwärts noch einige Kilometer verfolgt werden kann, beträgt etwa 18 bis 20 m (GHAVAMI 1972). In den höheren Schichten, in Dogger und Malm, sind grundsätzlich weniger Störungen und geringere Sprunghöhen anzutreffen als im Keuperland bzw. im Lias. Die flachherzynisch streichenden Verwerfungen von Tiefenhöchststadt und Tiefenstürmig haben nur eine Sprunghöhe von 12 bzw. 8 m und versetzen an ihrer nördlichen Flanke den oberen Dogger gegen den Malm nach Westen.

Über das Alter der Störungen, Schichtenverschiebungen, Zerklüftungen und anderen tektonischen Aktivitäten des Gebietes läßt sich nur so viel sagen, daß sie jünger sein müssen als die Gesteinsschichten, die davon betroffen worden sind. Das bedeutet, daß sämtliche Verwerfungen, Klüfte, Mulden- und Sattelstrukturen auf alle Fälle nach der Keuper- bzw. Jurazeit entstanden sein müssen. Wenn man die alpine Gebirgsbildung in Relation zu dem hier behandelten Gebiet betrachtet, müssen die Vorgänge hier erst in der jüngeren Kreide- und insbesondere in der Tertiärzeit erfolgt sein, beeinflusst durch die Aktivitäten

der Alpen. Das Gesamtbild des Raumes, sowie die Lagerungsverhältnisse wurden trotz der zahlreichen Störungen und Brüche nicht oder sehr wenig geändert.

2. Kurze Beschreibung der Schichtenfolge (Stratigraphie)

2.1. Trias

2.1.1. Unterer Burgsandstein (kbu)

Die tiefste und älteste anstehende geologische Einheit im vorliegenden Gebiet ist der Untere Burgsandstein, der besonders weiträumig in den südlichen und südwestlichen Teilen von Blatt Adelsdorf vertreten ist. Dieser vorwiegend mürbe, fein- bis grobkörnige Sandstein erreicht eine Mächtigkeit bis zu 30 m und ist im unteren Teil etwas karbonathaltig. Morphologisch bildet er im südwestlichen Teil des Arbeitsgebietes eine bewaldete, 10 bis 12 m hohe Hügellandschaft. Wegen seiner Ausbildung und geringen Letten- oder Toneinschaltung stellt er ein mehr oder weniger gut wasserführendes Schichtpaket dar, das stellenweise bei 4,40 m Tiefe Wasser führt.

2.1.2. Mittlerer Burgsandstein (kbm)

Der Mittlere Burgsandstein ist im vorliegenden Gebiet trotz seiner relativ geringen Mächtigkeit am weitesten verbreitet. Etwa die Hälfte von Blatt Adelsdorf und Bamberg-Süd, sowie der Südwestteil von Blatt Bamberg-Nord bestehen aus dieser geologischen Einheit. Sie besteht aus bunten Sanden und wird mit dem sogenannten unteren oder Basisletten, der bis zu 10 m mächtig werden kann, eingeleitet (HAAR-LÄNDER 1955). Der Beginn der Untergrenze ist wie die Grenzen aller anderen Einheiten sehr verschieden. So liegt sie z.B. im Raum Strullendorf bei 170 m,

bei Bamberg dagegen bei etwa 195 m üNN. Die Mächtigkeit des Mittleren Burgsandsteins nimmt von Nord nach Süd fast gleichmäßig ab, so daß z.B. den 40 m mächtigen Sandsteinen des mittleren Keupers im Raum Coburg nur 18 m bei Weißenburg i.B. gegenüberstehen. Im Raum Forchheim und bei Bamberg erreicht die Mächtigkeit Zwischenwerte von 30 m bzw. 35 m. Die Schichtenfolgen zeichnen sich durch eine Wechselagerung von roten, grünen oder violetten Sanden aus, die ihre jeweilige Mächtigkeit sehr rasch innerhalb des Schichtpakets auf Kosten der anderen Schichten ändern. Die Sande sind fein bis mittelkörnig, gelblich bis hellbraun, zum Teil dickbankig, feldspathaltig und enthalten stellenweise kleine Quarzgerölle. Nicht selten sind die Sandsteine hart dolomitisiert - daher die Bezeichnung dolomitische Arkose oder Dolomitsandstein (BERGER 1965 und EMMERT 1964).

Charakteristisch für den Mittleren Burgsandstein ist seine durch dolomitische Bindemittel bzw. Tonlagen bedingte Undurchlässigkeit. Im südwestlichen Abschnitt von Blatt Adelsdorf, dem Gebiet, in dem gerade die Letten am besten aufgeschlossen sind, treten besonders häufig Teiche auf, die im allgemeinen für die Fischzucht genutzt werden.

2.1.3. Oberer Burgsandstein (kbo)

Im vorliegenden Gebiet wird der Obere Burgsandstein genauso wie der Mittlere ebenfalls mit einem zähen Letten, dem Oberen- oder Hauptletten, eingeleitet (KRUMBECK 1931, HAARLÄNDER 1955). Der Letten erscheint rot, im unteren Teil dagegen grün gestreift oder fleckig und wird beim Austrocknen hart und rissig. Der Sandstein tritt sehr weitflächig in den Waldgebieten von Blatt Bamberg-Süd, nördlich

und südlich von Stegaurach auf, sowie auf Blatt Adelsdorf bei Willersdorf und Herrnsdorf.

Große Änderungen in der Mächtigkeit zeigt der Obere Burgsandstein im engen Gebiet nicht: im Südteil bei Forchheim wurde er mit 28, im Raum Bamberg mit ca. 30 m gemessen. Weiträumiger betrachtet, erscheint bei Hiltpoldstein ein Wert von 46 m, bei Coburg dagegen von nur 23 m.

Morphologisch macht sich der Letten besonders deutlich durch seine Undurchlässigkeit und Quellenhaltung als wasserstauende Schicht bemerkbar, wovon die Weiher um Frensdorf oder Stegaurach Zeugnis geben. Das gesamte Schichtpaket stellt örtlich, je nachdem ob sandige oder tonige Ausbildung vorliegt, eine mehr oder weniger gut wasserführende Schicht dar, die nicht selten das Wasser an mehreren Stellen übereinander austreten läßt und somit ein stockwerkartiges Quellensystem vortäuscht (vgl. Quellensystem bei Jungenhofen, 22).

2.1.4. Feuerletten (Knollenmergel, kf)

Die vorwiegend rote, schluffige Tonsteinfohle tritt im vorliegenden Gebiet als einziges Glied des Oberen Keupers auch im östlichen Abschnitt des Regnitztales auf. Sie ist ausschließlich in den Waldgebieten der nordwestlichen Teile von Blatt Adelsdorf und im mittleren Teil von Blatt Bamberg-Süd in der Nähe der Regnitzterrassen anzutreffen. In frischem Zustand weist der Feuerletten einen geringen Karbonatgehalt auf, der im allgemeinen nach Südosten hin abnimmt und stellenweise ganz verschwindet. In die rote Tonsteinfohle sind Knollen, kalkige oder dolomitische Gesteine, sowie sandige Sedimente einge-

lagert. Die Knollen zeigen in ihren Hohlräumen nicht selten Calzit, Kalkspat, Dolomit oder auch Pyrit und Eisenglanz (EDLINGER 1959, SCHIRMER 1967). Das Ergebnis einer von der Forstlichen Versuchsanstalt München durchgeführten chemischen Analyse einer luftgetrockneten Feuerlettenprobe aus dem Hauptsmoorwald mag hier zur Anschauung dienen:

Mangan II-Oxid	0,017%
Phosphatsäure	0,027%
Natrium	0,30 %
Kali	0,33 %
Calciumoxid	0,51 %
Humus	0,74 %
Magnesiumoxid	0,90 %
Chemisch gebundenes Wasser	3,89 %
Eisenoxid	6,18 %
hygroskopisches Wasser	8,64 %
Aluminiumoxid	13,57 %
Kieselsäure	65,26 %

Die Mächtigkeit des Feuerletten ist in diesem Gebiet sehr unterschiedlich. Sie weist eine Differenz von über 20 m auf. So beträgt sie nördlich von Blatt Adelsdorf im Raum Herrndorf 30 m und bei Schnaid 35 m. Im Raum Forchheim dagegen ist die Mächtigkeit des Letten mit 40 m und bei Strullendorf, wie allgemein im vorliegenden Gebiet, mit 50 - 60 m anzugeben (HAARLÄNDER 1963)

2.1.5. Rhätolias (Rätolias)

Der Oberste Keuper besteht aus einer Wechsellage von Ton- und Sandsteinen, die nach Nordfranken zu immer sandiger wird. Da ein Teil der als Rhät angesehenen Schichten in bezug auf Fossilführung und Lithographie schon jurassischen Charakter zeigt, hat KRUMBECK 1936 diesen Schichtenkomplex als Rhätolias

(-Übergangsschichten) bezeichnet. Allein im Raum Coburg ist wegen der starken Zunahme des Oberen Keuper bis zu einer Mächtigkeit von 40 m eine deutliche Trennung der Jura- und Trias-Ablagerungen möglich. Das Verbreitungsgebiet des Rhätolias liegt im zu betrachtenden Bereich auf Blatt Adelsdorf im Raum zwischen Ösdorf und Schnaid, ferner in der Umgebung von Strullendorf, Köttmannsdorf, Höfen und Roßdorf, sowie auf Blatt Bamberg-Süd. Mit ca. 0,8 bis 1,5 m Mächtigkeit treten die Rhätolias-Ablagerungen östlich des Regnitztales bei Buttenheim als schmaler Streifen in Nord-Süd-Richtung auf, wobei es sich vorwiegend um halb- bis dunkelbraune, grobe, feldspathaltige Sandsteine handelt, die mit Ton (-Steinen) oft Wechsellagerungen bilden. Wo Sandsteine dominieren, bildet das Rhät über dem Feuerletten einen Geländeknick. Die Untergrenze des Rhätolias ist vielfach, bedingt durch seine Lage und die Beschaffenheit der lokalen Ausbildung, durch Quellenaustritte festzustellen.

2.2. Jura

2.2.1. Lias

Im fränkischen Raum weist der Lias eine regional sehr unterschiedliche Mächtigkeit und Ausbildung auf. Mit den Pylonoten-Schichten beginnt der Lias als typisch küstennahe marine Ablagerung und älteste Lias-Einheit im Coburger Bereich. Im südlicheren Bereich von Oberfranken und dem daran anschließenden Mittelfranken sind vielfach nur festländische Sedimente, nämlich Sandsteine und Ton, bzw. Schiefertone zur Ablagerung gekommen, die von den darunterliegenden Rhätolias-Übergangsschichten wegen der gleichen petrographischen Beschaffenheit kaum zu trennen sind (vgl. 2.1.5.).

Von der 35 cm starken marinen Lias-Sohlbank bei Coburg, die den Lias in Franken einleitet, sind nach KRUMBECK 1932 auf Blatt Bamberg-Nord kaum noch Spuren zu finden. Auf Blatt Bamberg-Süd wurde bei Strullendorf eine 15 bis 40 cm mächtige grobkörnige Sandsteinschicht von KRUMBECK 1936 - mit Vorbehalt - als gesamte Psylonoten-Schichten bezeichnet. Allgemein erfuhren Vorhandensein und Mächtigkeit der Ablagerungen dieser Einheit im vorliegenden Gebiet noch keine sichere und eindeutige Erläuterung.

Eindeutiger zeichnet sich demgegenüber der Lias-Alpha 2 (Angulatensandstein) im Gelände als Verebnung ab, die z.B. zwischen Rothof und Michaelberger Wald (Blatt Bamberg-Süd), bzw. nordöstlich von Blatt Adelsdorf bei Rothensand zum Vorschein kommt.

Die Sedimente stellen sich dar als Folge dünn-schichtiger bis plattiger, gelbbrauner bis graugelber, glimmriger Sandsteinlagen von feiner bis mittlerer Körnung. Die darüberliegenden Arietensandsteine (Alpha 3) treten dagegen meist in gröberen, quarzreichen Schichten auf. Sie sind unterschiedlich kalkig, plattig und enthalten aufgearbeitete Toneisensteine und Gerölle von Angulatensandstein. Die maximale Mächtigkeit der Angulatenschichten beträgt 5,5 m bis 6,5 m, die des Arietensandsteins wenig mehr als 5,0 m.

Zwischen dem sandigen Lias-Alpha und den mächtigen und steileren Delta-Schichten bilden die Beta- und Gammaschichten eine deutliche Verebnung, in deren Mitte ein deutlicher Knick, hervorgerufen durch Gamma-Kalkplatten, leicht zu erkennen ist. Die 5 bis 15 cm mächtigen Kalkbänke sind bis auf eine Stelle (Hammerberg, Blatt Buttenheim) nicht anstehend, jedoch in Form von Kalkbrocken aufgeschlossen. Die wesent-

liche Ausbildung dieser beiden Schichten stellt der dunkle Ton- und Mergelschiefer mit Phosphorit- und Kalkknollen dar. Das beste Profil von der Untergrenze des Beta bis zur Obergrenze des Gamma findet sich von Reuth ausgehend bis zur östlichen Straßenseite Buttenheim/Seigendorf. Die maximale Mächtigkeit des Beta beträgt ca. 6 m, Gamma liegt bei 7 bis 8 m. Im Blattgebiet von Forchheim und Adelsdorf mißt die Mächtigkeit etwa 1,0 bis 1,3 m weniger.

Die oberen Pliensbach-Schichten (Amaltheen-Schichten) haben sich in Form von mächtigen, fossilarmen, graublauen Mergelschiefern entwickelt. Charakteristisch für diese Schichtfolge sind die großen Septarien und verschiedenen Knollen, die zum Teil Versteinerungen oder Mineralien, z.B. Pyrit und Calzit enthalten. Die Mächtigkeit der Lias-Delta-Schichten wurde generell mit 25 bis 45 m angegeben. Auf Blatt Buttenheim stellt sich die maximale Mächtigkeit dieser Schichten jedoch mit ca. 37 m dar. Sie läßt sich an mehreren Aufschlüssen auf diesem Blatt, z.B. im Wachtal oder westlich von Elmberg messen. Auf Blatt Adelsdorf überschreiten die noch vorhandenen Ablagerungen des Lias-Delta nicht die Mächtigkeit von 15 m; von HAARLÄNDER 1963 wurden sie den Ablagerungen des Unteren Delta zugeordnet.

Die oberen Lias-Schichten, Epsilon und Zeta, kommen im nördlichen Regnitztal nur noch auf den geologischen Blättern Forchheim und Buttenheim zum Vorschein, wobei die höchste Sedimentation im Bereich des letztgenannten Blattes erfolgt ist. Die Toarcien-Schichten bestehen aus 12,4 m mächtigen, dunkelblauen bituminösen Kalkmergelschiefern (auch Wilder- oder Papierschiefer genannt), sowie dunkelgrauen bituminösen Ton- bis Mergelschiefern, in die viele Versteinerungen,

wie z.B. Muscheln, Ammoniten und vor allem Belemniten, eingebettet sind. Die Belemniten erreichen ihre größte Verbreitung in einem Aufbereitungshorizont ("Belemnitenschlachtfeld"), den man als Grenze von Unterem und Oberem Toarcien annimmt. Nahezu überall anzutreffen im unteren Teil sind zwei bzw. vier Kalkbänke, bestehend aus dunkelgrauen, dichten, bituminösen, zum Teil oolithischen Stinkkalken, die an ihrer Oberfläche Versteinerungen aufweisen. Die Kalkbänke sind in den beiden Profilen am südlichen Boschenberg (Ketschendorfer Leite), sowie ca. 400 m südlich von Hahnberg anzutreffen (Blatt Buttenheim). Hier kommen durch eine Verwerfung zwei Epsilon-Kalkbänke zu Tage. Die Obergrenze des Oberen Toarcien wurde oft durch Dogger-Alpha-Torulosus-Schichten abgegrenzt.

2.2.2. Dogger (Mittlerer Jura)

Die Schichtenfolge des Doggers nimmt als mächtiger Ablagerungskomplex einen großen Teil der Fläche im Ostteil des Regnitztales ein und zieht sich von Forchheim bis weit in das Blatt Scheßlitz hinein. Den nur wenig mächtigen Lias-Schichten folgt die in Franken bis 160 m starke Dogger-Sedimentation, hauptsächlich bestehend aus Ton- und Mergelschiefern, oolithischen Kalksteinen oder fein- bis mittelkörnigen Sandsteinen.

Die jurassischen Schichten beginnen hier mit dem Dogger-Alpha (Unter-Aalenien), dessen Ablagerungen infolge toniger Ausbildung eine weite Fläche in diesem Raum einnehmen. Der Opalinuston beginnt mit dem 45 m (Blatt Forchheim) oder 81 m (Blatt Buttenheim) starken, kalkarmen, blaugrauen, glimmerigen, schiefrigen Tonstein, in dessen oberem Teil sich oft große Gipskristalle und eingelagerte Toneisensteingeoden finden. Die Hauptmasse dieser Schichten ist sehr fossilarm und bildet

an der Grenze zur hangenden Schicht (Doggersandstein) eine Reihe von sehr ergiebigen Quellen, z.B. östlich von Weigelsdorf (Blatt Forchheim) und in der Umgebung von Götzendorf, sowie östlich von Stackendorf (Blatt Buttenheim).

Über der Opalinuston-Stufe erhebt sich sehr rasch dickbankiger Doggersandstein, der wegen seiner Flöz-horizonte auch Eisensandstein genannt wird. In die obere Hälfte der Hauptmasse der aus feinkörnigem, glimmerigem, hellem, kalkarmem Sandstein mit gelegentlichen Ton- und Mergel-einlagerungen bestehenden Schichtenfolge sind als Wechsellagerungen zwei bis drei Eisenflöz-horizonte eingeschaltet, die aus rost-braunem, oolithischem, fossilführendem Kalksandstein bestehen, wohingegen im unteren Teil sehr oft dezimeter-große, stark oxydierte Eisenkonkretionen anzutreffen sind. Die Stärke der Kalksteine beträgt im südlichen Bereich an der Ehrenbürg (Blatt Forchheim) bei einer Gesamtmächtigkeit des Dogger Beta von rund 52 m nur 2,60 m, bei Reifenberg (ebenfalls Blatt Forchheim) mit rund 58 m nur 4,60 m. Die Mächtigkeit der Rot-eisenoolith-Flöze mißt an der Ehrenbürg für vier Flöze rund 1,9 m, bei Reifenberg für ein Flöz nur 35 cm. Wichtig sind die sehr starken, kleinen tief-braunen Limonitoolithe, die an der Ehrenbürg mehr oder weniger häufig in einem rund 29 m dicken Teil des Profils einen Stoß von insgesamt etwa 14 m kennzeichnen und bei Reifenberg bei rund 47 m einen solchen von etwa 19 m. Die Vollprofile des bis 83 m mächtigen Dogger-Beta kann man an sehr vielen Stellen beobachten, so z.B. auf Blatt Buttenheim in Götzendorf, Friesen und insbesondere auf der halbbefahrenen Straße zwischen Frankendorf und Ketschendorf. Bei Frankendorf wurde das beste und vollkommenste Profil des Dogger-Beta in Franken mit 120 m von W. TREIBS 1964 aufgenommen.

In den Vollprofilen kommen je sieben Kalksandstein-Bänke vor, wovon je zwei einander sicher und je zwei weitere wahrscheinlich entsprechen. Horizontbeständig ist auch das häufige Vorkommen von Toneisenstein zwischen den beiden roten Bänken, sowie das überall anstehende Hauptmuschellager (vgl. auch D. GHAVAMI 1972 und L. KRUMBECK 1956).

Der Doggersandstein stellt dank seiner hohen Mächtigkeit und Ausbildung eine ausgezeichnete wasserführende Schicht im gesamten Mesozoikum dar. An seiner Untergrenze, z.B. bei Ketschendorf, westlich von Tiefenstürmig, bei Kauerndorf, gelegentlich auch noch im untersten Teil des Dogger-Beta, wo gerade als Wechselagerungen 3 bis 5 cm mächtige Tonlagen vorkommen, treten zahlreiche zum Teil ergiebige Quellen hervor.

Die mittleren und oberen Doggerschichten treten im Vergleich zu dem über 160 m mächtigen Liegenden nur in geringerer Mächtigkeit auf. Sie durchziehen stufenförmig, dicht an der Obergrenze des Dogger-Beta das ganze Gebiet, wobei sie jedoch zum Teil durch die reichlich vorhandenen Malm-Schuttmassen zugedeckt werden. Sie erreichen eine maximale Mächtigkeit von rund 25 m auf Blatt Buttenheim, wovon im Durchschnitt 18 bis 19 m, auf Blatt Forchheim nur 15 m, aufgeschlossen sind. Die mittleren und oberen Schichten des Doggers bestehen im wesentlichen aus Kalksandsteinbänken, Mergeln und Schiefertönen mit Gerölleinlagerungen, wobei die oberen Schichten (Epsilon und Zeta) etwas mergeliger und toniger ausgebildet sind und gut erhaltene Gipskristalle, Goldschnecken und viele Macrocephalen besitzen. Auf Grund der Undurchlässigkeit des gesamten mittleren und oberen Doggers und der darüberliegenden durchlässigen mächtigen Malm-Kalke treten gerade in diesem Horizont und an dieser Schichtgrenze sehr oft Quellen auf, die nicht selten zu Bergrutschen

führen (z.B. Bergrutsch bei Ebermannstadt oder bei Tiefenhöchststadt vom Dezember 1971). Die wenigen Quellen, die in diesem Horizont auftreten, sind nur zum Teil ergiebig (z.B. Quellensystem südöstlich von Zeegendorf und östlich von Tiefenstürmig).

2.2.3. Malm

Der Malm oder weiße Jura besteht im vorliegenden Gebiet in den unteren Teilen aus hellen Kalken in Bank- und Schwammfazies, in den oberen Teilen dagegen überwiegend aus (Franken-) Dolomit. Als markantester Teil des Frankenlandes erhebt er sich mit seinen hohen Steilhängen und einer Mächtigkeit von ca. 300 m direkt über der Verebnung des Oberen Doggers. Die unterste, praktisch im gesamten Gebiet vorkommende Malmschicht besteht aus mehreren gelben, knolligen, harten, mit dunkelgrünen Glaukonitkörnern durchsetzten Kalksteinbänken, die zahlreiche Versteinerungen aufweisen. Die Hauptmasse des Unteren Malmes (Malm-Alpha) besteht aus grauen, sehr gut gebankten, abbauwürdigen Kalksteinen, Mergelkalksteinen und Mergelsteinen in Wechselagerung (Steinbruch östlich von Drügendorf auf Blatt Buttenheim). Die Mächtigkeit des Malm-Alpha schwankt zwischen 20 m und 25 m auf Blatt Forchheim, liegt bei 25 m östlich von Blatt Buttenheim und bei 31 m weiter östlich bei Ebermannstadt. Die Schichtgrenze zum Liegenden wird oft durch den Beginn des Steilhanges über dem tonigen Oberen Dogger und damit verbundenen Quellenhorizont bestimmt (z.B. Quellenhorizont Zeegendorf, Tiefenhöchststadt, Tiefenstürmig östlich von Blatt Buttenheim).

Die oberen mergelreichen Malm-Alpha-Schichten setzen sich im unteren Teil als bräunlich graue, nach oben grau gelbe bis fast weißgelbe, feste, dichte,

splittrige, sehr gut gebankte Kalke des Beta (Werkkalke) fort, dessen Bänke generell 0,2 bis 0,3, seltener über 0,5 m dick und gelegentlich von sehr dünnen Mergellagen unterbrochen sind. Stellenweise enthält das Gestein rostige Flecken und mehr oder weniger zahlreiche, bis 4 cm große Hohlräume, in denen des öfteren Pyritkristalle zu finden sind. In den oberen Lagen treten vereinzelt bis zu 10 cm große, teilweise zersetzte Kalkkiesel-Knollen und dunkelgraue, dichte Hornstein-Knollen auf (Steinbruch bei Drügendorf). Die Mächtigkeit der Malm-Beta-Kalke, die in den Steinbrüchen auf dem Schützenberg und am Südwesthang des Feuerstein (Blatt Forchheim), sowie östlich von Drügendorf und nördlich von Friesen sehr gut aufgeschlossen sind, schwankt zwischen 15 m im Südosten und 18 m im Norden des Gebietes. Erschlossen sind Werkkalke in zahlreichen, zur Gewinnung von Straßenschotter, Bausteinen und Brennkalk angelegten Steinbrüchen, und zwar vor allem dort, wo die Abbaumöglichkeiten infolge der flachen Lagerung besonders günstig sind.

Über den harten, splittrigen Kalken des Malm-Beta setzt plötzlich eine Verebnung des unteren Gamma ein, bestehend aus grauen Mergeln oder stark mergeligen Kalken. Wegen ihrer relativ weichen Struktur bilden die unteren Gamma-Schichten keine Steilhänge mehr, obwohl sie 11 bis 14 m mächtig sein können. Oberhalb dieser Verebnung schließt sich eine zum Teil bewaldete Zone an, der Mittlere Gamma (Gamma 2), überwiegend aus harten, splittrigen Kalken bestehend, mit einer Mächtigkeit von 27 bis 29 m, während die darauffolgende Verebnung wieder durch die wenig widerstandsfähigen, mergelreichen, hellen Kalke des oberen Gamma zustande gekommen ist. Die Gesamtmächtigkeit der Gamma-Ablagerung beträgt im vorliegenden Gebiet generell rund 55 m. Nur im untersten Gamma an der

Grenze zu Malm-Beta treten gelegentlich Quellen aus, die allerdings klein und wenig ergiebig sind.

Als letzte und jüngste geologische Einheit im Malm spielt im zu betrachtenden Gebiet der Delta noch eine mehr oder weniger wichtige Rolle, weswegen er hier kurz behandelt werden soll. Über der flachen Ebene des Oberen Gamma erheben sich im Ostteil des Gebietes sehr rasch die verkieselten Delta-Ablagerungen. Im allgemeinen gehen schon innerhalb des Gamma die geschichteten Kalke in Schwamm oder Dolomit über, oder das Gamma bildet bereits die Hochfläche der Alb (z.B. Blatt Muggendorf, sowie östlich von Blatt Buttenheim), weshalb nur noch an den Talhängen des östlichen Arbeitsgebietes geschichtetes Delta vorhanden ist (z.B. u.a. das Leinleiter-Tal). Die Delta-Kalke unterscheiden sich weder durch ihre Beschaffenheit noch durch die Art ihrer Bankung von den geschichteten Kalken des älteren Malm. Sie sind hellgrau bis weiß, gut gebankt, und können auch splittrig wie Beta- oder in so mergeliger Form wie Alpha-Kalke auftreten. Die Dolomitisierung des Malms betrifft stellenweise bereits den jüngeren Malm-Alpha (Forchheimer Langé Meile), Malm-Beta dagegen auf kurzen, Gamma auf längeren Strecken und Delta fast vollständig (vgl. KRUMBECK 1953).

Da die eigentliche Frankenalb aus Malmkalksteinen und Frankendolomit aufgebaut ist, ist sie größtenteils stark verkarstet und daher oberflächlich sehr wasserarm. Die Untergrenze der Verkarstung bildet damit der tonige oder mergelige Untergrund, der zugleich einen undurchlässigen Horizont darstellt. An ihren Ausstrich gebundene Quellen dieses Horizontes können je nach Ergiebigkeit mehr oder weniger wasserwirtschaftlich genützt werden. Besonders im Innern der nördlichen

Frankenalb bilden diese Schichten eine mit verkarstetem Malm ausgefüllte Mulde, die großenteils weit unter die heutigen Talböden reicht und ein riesiges natürliches Wasserreservoir darstellt (SPÖCKER 1950), das entweder als wasserreiche Karstquellen oder als nur zeitweise ergiebige Hungerbrunnen auftritt. Durch solche tiefliegenden Karstquellen werden Ortschaften in steigendem Maße direkt oder durch Tiefbohrungen mit Wasser versorgt. Nicht selten ist das Wasser an Klüften oder Spalten als Karstwasserkörper gebunden und zusammenhängend. Die Erschließung solcher Karstwässer kann in dem verkarsteten Teil des Malms fast ausschließlich mittels angelegter Tiefbrunnen erfolgen.

2.3. Quartär

2.3.1. Pleistozän (Diluvium)

Im nördlichen Abschnitt des Regnitztales sind verschiedene quartäre Ablagerungen verbreitet, deren zeitliche Gliederung und Unterscheidung oft sehr schwierig ist. Unter den Regnitzablagerungen sind grobkörnige Sande und Schotter häufiger anzutreffen als fein- und mittelkörnige, weshalb anzunehmen ist, daß die Ur-Regnitz ein energiereicher Fluß war, da sie auch relativ schwere Sandkörner zu transportieren und sogar gut sortiert abzulagern vermochte (vgl. K. G. POLL 1974).

Generell gliedern sich die quartären Ablagerungen im vorliegenden Gebiet in drei Terrassen. Die gesamte quartäre Sedimentation ist zwischen Eiszeit und Nach-eiszeit, also in dem Zeitraum von der letzten Vereisung bis zur Gegenwart entstanden. Die pleistozänen Sedimente im Bereich des Regnitztales samt seiner Nebentäler sind nach KRUMBECK 1948 Auswirkungen der letzten Vereisungsperiode, d.h. der Würm-Eiszeit. Während jener Zeit (vor ca. 20.000 Jahren) lag die mittlere

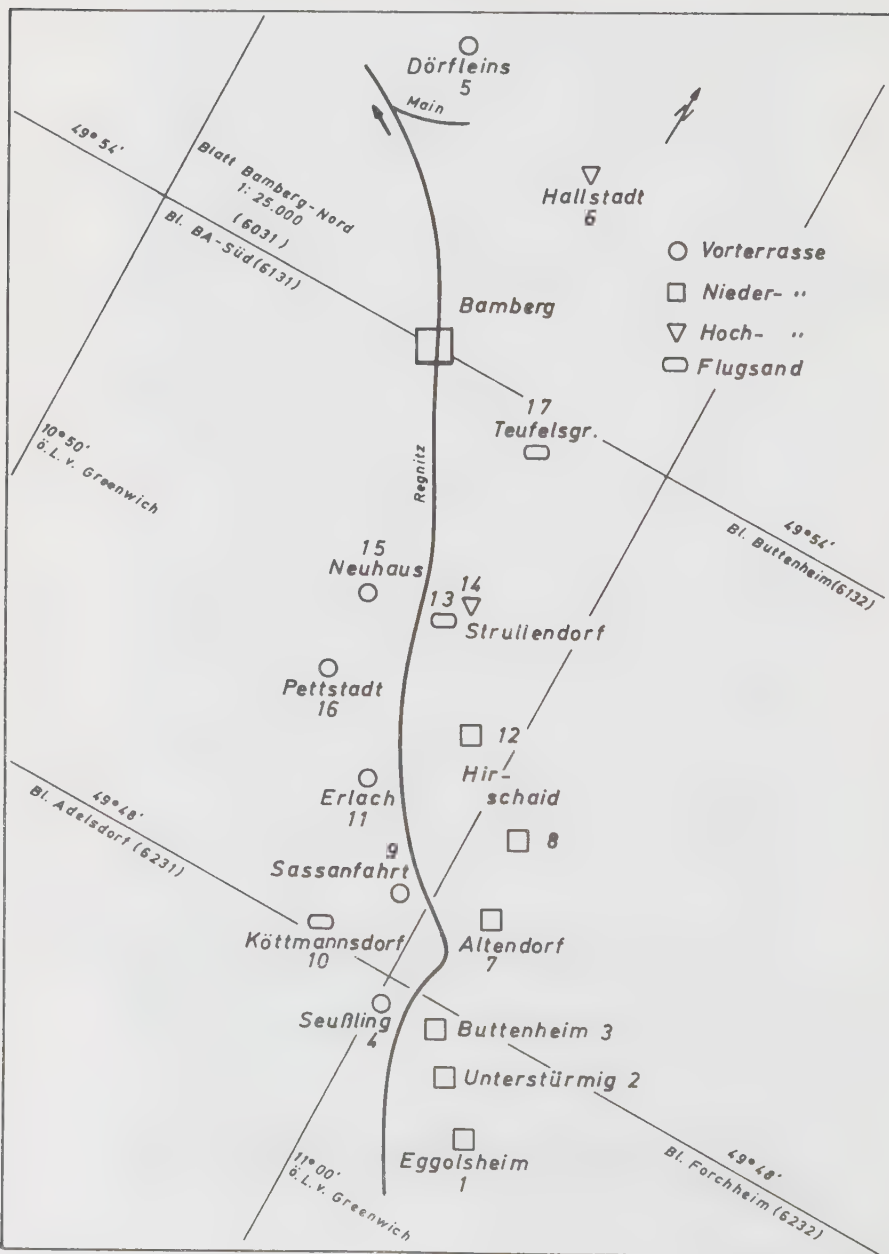
Jahrestemperatur ungefähr bei 0° bis 1° im Winter und kaum über 10° bis 15° Celsius im Sommer. Das bedeutete, daß das vorliegende Gebiet ganzjährig betrachtet zwar nicht vereist war, daß jedoch klimatische Verhältnisse herrschten wie im heutigen Alaska oder der sibirischen Tundra. Infolge der langandauernden Kälte war der Boden einige Meter tief gefroren, es herrschte Dauerfrost. In den kurzen Sommermonaten tauten die oberen Bodenschichten auf und verwandelten sich in ein weites Sumpfgebiet ohne jeglichen Waldbestand. In den hartgefrorenen Böden rissen damals oft Spalten von enormer Tiefe bis zu mehreren Metern auf, die sich im Laufe des Sommers mit Schmelzwasser und Sand, nicht selten auch mit Flugsand auffüllten und so die sog. Frost- oder Eiskeile bildeten. Derartige Frostspalten sind reichlich besonders in den Sandgruben nördlich von Altendorf, Hirschaid und Eggolsheim zu finden. Sie reichen nicht selten 2 bis 3 m tief in die Terrassensande des Regnitztales und unterscheiden sich oft durch ihre dunkleren (bräunlichen) Farben von ihrer Umgebung.

Die pleistozänen Terrassen der Haupt- und Nebenflüsse des Regnitztales bestehen hauptsächlich aus dem Material der aufgearbeiteten Deckschichten, z.B. Sanden, Quarzen, Quarziten, Dogger- und Malmkalkschutt, Lias-Sanden und -Kalken, Fossilbruchstücken und Hornsteinen. Nach ihrer Höhenlage und nicht zuletzt ihrem Alter lassen sie sich im allgemeinen in Nieder- (oder Haupt-) und Hochterrassen einteilen, wobei sämtliche höher als 15 m gelegenen Terrassen zusammen als eine Einheit (Hochterrasse) bezeichnet werden.

2.3.1.1. Hochterrasse

Die Ablagerungen der älteren Terrassen, der Hochterrassen, kommen in ihrer größten Verbreitung, unter

Abb. 1 STRATIGRAPHIE, LAGE, ART und NUMMER der Proben für schwermineralanalytische Untersuchungen.



anderem aus tektonischen Gründen, fast nur im Ostteil des Regnitztales vor (vgl. Abb. 1). Die Hochterrassen können über 12 m mächtig werden, sind allerdings örtlich bis zu 2 m abgetragen. So sind z.B. von den zwischen 7 und 11 m mächtigen Ablagerungen der Hochterrasse auf dem südwestlichen Blatt Buttenheim nur noch 1,6 m direkt über der Niederterrasse übriggeblieben. In den Sandgruben oder auch durch Bohrungen kann man auf Blatt Buttenheim etwa 8 m und auf Blatt Adelsdorf über 10 m hohe Hochterrassenaufschüttungen feststellen.

Die folgenden Bohrungen wurden bei einer Ansatzhöhe von 280,03 m in der Hochterrassenebene von Blatt Adelsdorf (ca. 1,7 km E'Höchstadt) niedergebracht:

9. Mutterboden	30 cm
8. Grob- und Mittelsand, schwach feinkiesig, einzelne Gerölle, hellgelblich-braun bis -grau	90 cm
7. Mittel- bis Grobsand, schwach feinkiesig, gelbgrau	110 cm
6. Fein- bis Mittelsand, schwach tonig, gelblichgrau	90 cm
5. Mittelsand, schwach tonig, rötlich braun	90 cm
4. Mittel- bis Grobsand, feinkiesig, rotbraun	230 cm
3. Mittel- bis Grobsand, wenig Kies, gelbbraun	70 cm
2. Mittel- bis Grobsand, tonig, schluffstreifig, rotbraun	230 cm
1. Ton, feinsandig, grünlichgelb	70 cm

Am äußersten Westrand von Blatt Buttenheim wurde in der aufgelassenen Sandgrube an der Straße Hirschaid-Seigendorf folgendes Profil aufgenommen (von oben nach

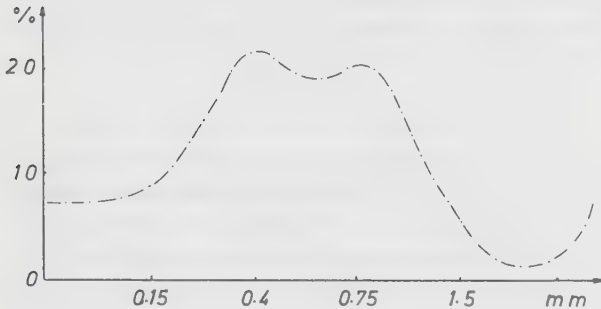
unten):

- | | |
|---|------------|
| 4. Lehm: hell- bis dunkelbraun, kalkfrei,
mit vereinzelt Geröllen | 25-45 cm |
| 3. Sand: mittelkörnig, gelblich, schwach
tonig | 180-225 cm |
| 2. Sand: mittel- bis grobkörnig, mit vielen
Kies- und Kalkeinlagen | 44-115 cm |
| 1. Sand: fein- bis grobkörnig, mit vielen
großen, flach abgerundeten Malm- und
Doggersandsteingeröllen, Quarz und Lias-
sandsteinen, schlecht aufgeschlossen bis | 420 cm |

Im nördlichen Bereich des Arbeitsgebietes sind bis zu 7,5 m mächtige Hochterrassen-Ablagerungen aufgeschlossen (2,1 km östlich von Bamberg und östlich von Hallstadt). In der breiten Hochterrassenebene bei Strullendorf, wo das Material in zwei kleinen Sandgruben zum Vorschein kommt, wurden Sandproben und Gerölle gesammelt und untersucht. Dabei war festzustellen, daß die Gerölle zu 21% aus mesozoischen Sandsteinen, zu 75% aus Kalken (fast alle aus Malm) und nur zu 4% aus Quarzgeröllen bestehen. Die Probe stammte aus einer Tiefe von 250 cm. Insgesamt sind im vorliegenden Gebiet drei Hochterrassen vorhanden, mit den Standortnummern 4, 6 und 8 (vgl. Abb. 1). Die aus diesen Sandgruben entnommenen drei Sandproben zeigten nach der Siebanalyse, daß rund 75% des Materials nach der WENTWORTH-Skala aus mittelkörnigen Sanden besteht (vgl. Abb. 2). Der Sand wurde weiterhin nach Schwermineralien analysiert (für die ausführliche Darstellung der Ergebnisse s. Kap. 3).

Die Ablagerungen der Hochterrasse stellen gute wasserführende Schichten dar, sind allerdings oft nicht so ergiebig wie die der Niederterrassen. Die

Abb. 2
Durchschnittliche Korngrößenverteilung der
HOCHTERRASSENSANDE in den Proben
6a, 8d und 4b



LOKALITÄTEN zu den Tabellen 2 bis 6

Standort

- 1a-1g : stillgelegte Sandgrube 1,1 km W'Eggolsheim
- 2b : Sandgrube 1,0 km N'Bahnhof Eggolsheim
- 3b : große Sand- u. Kiesgrube 1,3 km SE'Altendorf
- 4a : große Sandgrube 1,0 km SE'Seußling
- 5b : etwa 1,5 km SW'Dörfleins, dicht am Main
- 6a : kleiner Aufschluß ca. 0,6 km E'Hallstadt
- 7a : E' d. Kiesgrube ca. 1,5 km NW'Altendorf
- 7h : N' d. Kiesgrube ca. 1,5 km NW'Altendorf
- 8d : große stillgel. Kiesgrube 0,7 km E'Hirschaid
- 9b : kleine Sandgrube 0,3 km W'Sassanfahrt
- 10a : Dünenzug 0,4 km S'Köttmannsdorf
- 11b : große Sand- u. Kiesgrube 1,8 km NE'Erlach
- 12b : stillgel. Kiesgruben 1,3 km N'Hirschaid
- 13a : E' d. Sandgrube 0,2 km NW'Strullendorf
- 14b : N' d. Sandgrube 0,4 km NW'Strullendorf
- 15a : kleine Sandgrube 1,1 km E'Neuhaus
- 16a : kleine Sandgrube 1,5 km E'Pettstadt
- 17a : Dünenzug 3,0 km E'Bamberg

Bohrungen im Nordteil von Hirschaid werden nur für landwirtschaftliche Zwecke genutzt und sind somit selten in Betrieb. Die Bohrungen auf dem Kartenbereich Bamberg-Nord dagegen - es sind in diesem Bereich ca. zehn Bohrungen niedergebracht - sind auch als Trink- und Brauchwasser verwendbar.

2.3.1.2. Niederterrasse

Die Ablagerungen der Niederterrassen bilden einen langen Streifen östlich des Tales mit einer Breite zwischen 100 m (z.B. Blatt Adelsdorf) und 2100 m (z.B. Blatt Bamberg-Süd). Nicht allein im Haupttal, sondern auch in den Nebentälern der Aurach, Rauhen Ebrach, Reichen Ebrach und des Strullendorfer Baches (örtlich auch Ziegenbach genannt) ist die Niederterrasse sehr gut, bis auf 9 m Mächtigkeit, ausgebildet. Die größte Verbreitung der Niederterrasse liegt allerdings im Ostteil des Tales (vgl. Abb. 1 und Abb. 3), da die Regnitz aus tektonischen Gründen im Laufe der Jahrtausende ihr Flußbett von Osten nach Westen verlagert hat. Bis zum Talrandbruch längs des heutigen Tales konnte die Regnitz zunächst in einem Feuerlettenland ihr Tal ziemlich leicht eintiefen. An dem Westrand des Talbruches lagen jedoch die härteren Keuperschichten, die sich ihr als Hindernis in den Weg legten. Diese tektonische Grenze bildet jetzt zugleich die Ufergrenze im Westteil (vgl. Kap.1). Die Verlagerung der Regnitz westwärts zeigt sich besonders deutlich dadurch, daß sich fast alle höher gelegenen (älteren) Terrassen auf der Ostseite befinden, da sie als erste abgelagert wurden. Die größeren, bis zu 12 m mächtigen und zugleich abbauwürdigeren Terrassenaufschüttungen liegen ausnahmslos an der Ostseite, wo sie seit Jahren u.a. als Baumaterial genutzt werden. Die Niederterrasse zeigt hauptsächlich sandige Ausbildung, die

nach unten immer kiesiger wird. Die Sande bestehen aus hellbraunem, ungeschichtetem, entkalktem und meist mittel- bis grobkörnigem Material, das im allgemeinen mit 10 bis 55 cm starkem Löß und Lehm überdeckt ist. Folgendes Profil wurde an einer aufgelassenen Sandgrube bei Eggolsheim aufgenommen (vgl. Abb. 8):

- | | |
|--|--------|
| 10. Lehmiger, schluffiger Boden mit Grasnarben, vereinzelt Kalkschotter | 40 cm |
| 9. Mittelkörniger, graugelber Sand, etwas lehmig (Probe entnommen) | 20 cm |
| 8. Feinkörniger, gelblichbrauner Sand, schwach tonig (Probe entnommen) | 30 cm |
| 7. Fein- bis mittelkörniger Sand, gelbgrau, bräunlich-gelb mit Kreuzschichtung, vereinzelt Kalkschotter (Probe entnommen) | 40 cm |
| 6. Schotterpaket aus Malm, Dogger und Lias mit Sandfüllung und Sandzwischenlagen (Probe entnommen) | 110 cm |
| 5. Sand-Schotter-Lage, mittel- bis grobkörnig, rotbraun, Schottermaterial aus Malm, Dogger und Lias-Kalken, schwach tonig | 175 cm |
| 4. Mittel- bis Grobsand, rostbraun, vereinzelte Malm- und Dogger-Schotterlagen (Probe entnommen) | 100 cm |
| 3. Mittel- bis Grobsand, vereinzelt Quarzgerölle und Schotter hauptsächlich von Malmkalk (Probe entnommen) | 70 cm |
| 2. Grobkörniger Sand mit Kalkschotter, tonig, lehmig, rostbraun, vereinzelt Quarzgerölle (Probe entnommen) | 80 cm |
| 1. Nach 30 bis 35 cm Lücke, nicht mehr aufgeschlossene und nicht anstehende Sande und Schotter vermischt, bis 7,35 cm Tiefe. | |

In der 250 mal 600 m großen Sandgrube, die im südlichsten Abschnitt des Arbeitsgebietes liegt, ist die Niederterrassenablagerung am besten aufgeschlossen. Die Süd- und Westwände der Sandgrube, die bei der Profilaufnahme miteinander zu kombinieren sind, lassen sich trotz einer Entfernung von ca. 50 bis 120 m Luftlinie voneinander gut parallelisieren. Auf Grund der Vollkommenheit des Profils und des Vorhandenseins der gesamten Niederterrassenablagerungen fast bis zum Grundwasser wurden den einzelnen Sand- und Kieslagen Schlitzproben entnommen und diese schwer-mineralanalytisch untersucht (zur ausführlichen Behandlung s. Kap. 3).

Eine interessante Entwicklung in bezug auf ihre Korngrößenverteilung nehmen die Sande der Niederterrasse. In allen Sandgruben weist die Hauptmasse der Sande (ca. 70%) einen Korndurchmesser von 0,25 bis 0,75 mm auf, Fein- und Grobsand machen zusammen nur rund 30% aus (vgl. Abb. 2, Diagramm A). Dagegen hat sich bei vertikaler Betrachtung der Sande (von der Erdoberfläche bis möglichst zum Grundwasser) herausgestellt, daß die fein- bis mittelkörnigen Sande ihren maximalen Anteil spätestens in einer Tiefe von etwa 4 m erreichen (vgl. Abb. 2, Diagramm B, Proben 1a - 1c), während der höchste prozentuelle Anteil der Grobsande (über 1,0 mm Durchmesser) erst ab 4 m Tiefe beginnt, also in tieferen Lagen zu suchen ist (vgl. Abb. 3, Diagramm C. Proben 1e - 1g).

Von Lage sechs der oben genannten Sandgrube wurden wahllos Gerölle (ca. 250 Stück) gesammelt und untersucht. Sie bestehen bis zu 73% aus Malmkalk (2 bis 3% Lias-Gamma-Kalk?), 4% Quarzgeröllen (über 10 mm Durchmesser) und 23% mesozoischen Sandsteinen, zum Teil Bruchstücken von Eisenkonkretionen oder dunkel-

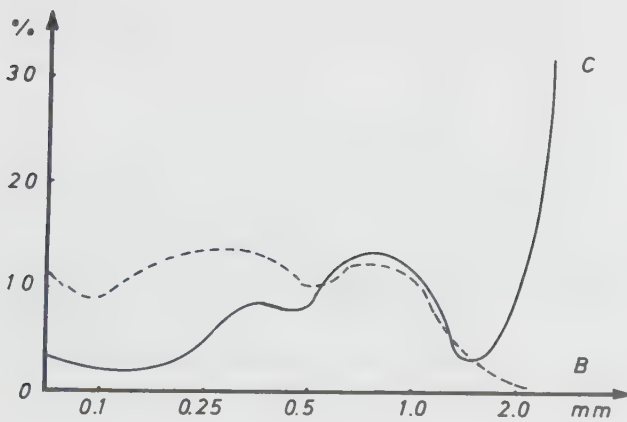
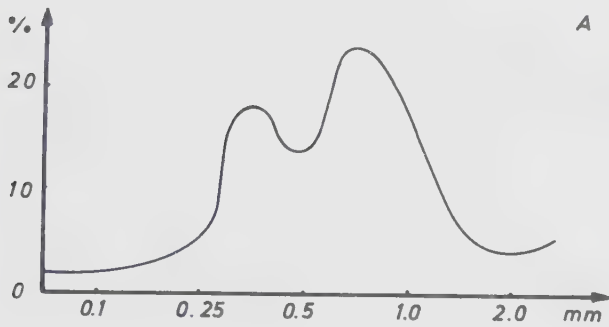
Abb. 3

Durchschnittliche Korngrößenverteilung der
NIEDERTERRASSENSANDE in den Proben:

A: 2b, 3b, 7h und 12b,

B: 1a, 1b und 1c,

C: 1e, 1f und 1g.



braunem Kalk-Sandstein. Fraktionen von 30 bis 35 mm Durchmesser kommen am häufigsten (mit 21%) vor. Geröllstücke mit geringerem Durchmesser als 15 mm (meist Quarze) oder mit größerem als 50 mm (meist stark eisen-schüssige Konkretionsbruchstücke) sind dagegen relativ selten. Sie bilden zusammen nur rund 5,5%. Dieses Verhältnis gilt auch für die Nebentäler der Regnitz, soweit überhaupt eine nennenswerte Niederterrasse mit relativ hoher Mächtigkeit aufgeschlossen ist.

Daß die Niederterrassensande sehr gute wasser-führende Ablagerungen darstellen, bezeugt die hohe Anzahl von Ansiedlungen und Kleinbetrieben entlang der Haupt- und Nebentäler im vorliegenden Gebiet. Durch eine Reihe von leistungsfähigen Bohrungen sowohl von privater als auch staatlicher Seite wird das Wasser für die Versorgung von Industrie, Landwirtschaft oder Haushalten verwendet. - Allein im Kartenbereich Bamberg-Nord sind über zwanzig Bohrungen allein in den Niederterrassen angelegt worden, wobei allerdings nicht alle in Dauerbetrieb sind -.

Der Grundwasserstand lag in den drei Niederterrassen-Sandgruben am 28.5.1974 gegen 18 Uhr bei Eggolsheim 7,35 m, westlich von Unterstürmig 7,20 m und nördlich von Hirschaid 6,65 m unterhalb der Oberkante des jeweiligen Aufschlusses.

2.3.1.3. Flugsand

Flugsande sind Gesteinsschichten, die reichlich hier verbreitet sind und, wenn auch selten, mit gewisser Schichtung zutage kommen. Alle Anzeichen (z.B. morphologische Formen, da sie meist in lang-gestreckten Dünen in West-Ost- bis Südwest-Nordost-Richtung verlaufen) deuten darauf hin, daß auch im

oberen Pleistozän der Wind wie heute bevorzugt von Westen oder Südwesten wehte. In der damaligen Zeit fand er auf den vegetationslosen kahlen Schuttfeldern oder Schotterterrassen eine breite Wirkungsstätte. Er blies durch Frostsprengung gelockerte und zerkleinerte Stoffe aus und lagerte sie je nach Korngröße bzw. Gewicht wieder ab, zuerst die Flugsande, dann den feineren leichteren Staub, den Löß. Innerhalb des Arbeitsgebietes finden sich Flugsande hauptsächlich im Ostteil des Regnitztales, insbesondere auf dem Kartenblatt Bamberg-Süd; geringere Verbreitung findet er über den Terrassensanden der Reichen Ebrach zwischen Wingersdorf und Schlüssellau auf dem Nordteil von Blatt Adelsdorf. Von nur kleiner Bedeutung ist die Verbreitung auf dem Südteil von Blatt Bamberg-Nord im Bereich des südlichen Gundelsheim und südöstlich von Kramersfeld bis Bamberg. Auf Kartenblatt Buttenheim ist der Flugsand nur an einer einzigen Stelle, und zwar nördlich von Altendorf in einer 60 mal 200 m großen Ebene aufgeschlossen, wovon allerdings die westliche Hälfte seit 1972 durch Abbauarbeiten vollkommen verschwunden ist. Die wohl größte Verbreitung überhaupt im Nordfränkischen Raum nehmen die Flugsandablagerungen auf Blatt Bamberg-Süd im Hauptsmoorwald ein, wo sie den Feuerletten besonders im westlichen Abschnitt fast völlig überlagern (vgl. Abb. 1). Nördlich bis nordöstlich von Strullendorf überdecken die Flugsande erneut den Feuerletten bis fast zum Lias-Gebiet über den Rhätoliasschichten. Flächenmäßig kleinere, aber doch einigermaßen bedeutende Verbreitungsgebiete befinden sich an den Talhängen der Reichen Ebrach und ziehen sich südlich bis südwestlich von Köttmannsdorf bis Sassanfahrt über das Lias-Gebiet und zum Teil über Terrassensande hin.

Die Mächtigkeit der Flugsande (bzw. der Dünen)

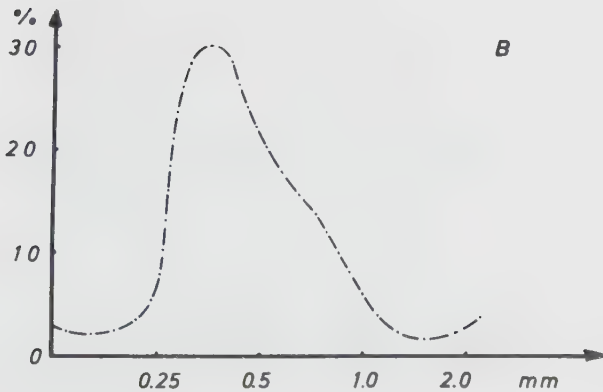
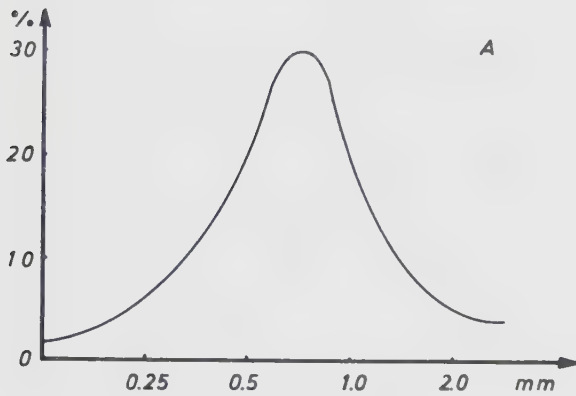
ist sehr unterschiedlich. Die langgestreckten hügel-förmigen Flugsande im Bereich südlich von Köttemannsdorf und Sassanfahrt weisen eine Stärke von 2 bis 4 m auf. Im Hauptgebiet der Flugsandablagerungen, im Nordosten der Regnitz, treten diese bei Strullendorf in zwei kleinen Sandgruben mit einer Mächtigkeit bis zu 5,5 m auf, wobei hier linsenförmige Barchanen beobachtet wurden, die einen Durchmesser von einigen hundert Metern, jedoch eine Mächtigkeit von 1 bis 3, seltener 4,5 m aufweisen. Die größte Mächtigkeit von Flugsanden wurde in Hauptsmoorwald an der Straße nach Geisfeld, kurz vor der Kreuzung mit der Bundesstraße 505, mit 7,5 m gemessen. Generell tritt bei den Flugsanden, wo sie flächenmäßig am weitesten verbreitet sind, eine Stärke von etwa 80 cm auf.

Allen drei oben genannten Hauptvorkommen des Flugsandes wurden Proben entnommen und diese sowohl sedimentologisch als auch schwermineralanalytisch untersucht, wobei festzustellen war, daß die Hauptmasse des Sandes, nämlich ca. 75%, aus feinkörnigen Flugsanden besteht (vgl. Abb. 4, Diagramm B). Der mittelkörnige Anteil beträgt etwa 21%, Sandkörner mit einem Durchmesser von über 1,0 mm sind dagegen mit nur 4% vertreten. In Gewichtsprozenten ausgedrückt ergibt sich für Körner mit geringerem Durchmesser als 0,5 mm ein Anteil von ca. 55%, für solche von 0,5 bis 1,0 mm etwa von 34% und für Körner mit einem Durchmesser von 1,0 bis 2,0 mm von ca. 10% des Gesamtgewichts der Sande, wobei der Prozentuale Anteil der übrigen Sandkörner zusammen ca. 1,0% beträgt.

Eine aufschlußreiche Vergleichsmöglichkeit der Feinkörnigkeit von Vorterrassen- und Flugsanden bieten die Diagramme A und B von Abb. 4, worin deutlich zu erkennen ist, daß der Feinkörnigkeitsbereich der Flugsande deutlich in den Bereich der geringeren

Abb. 4

Durchschnittliche Korngrößenverteilung der
Sande in den Proben 4, 5, 9, 11, 15 und 16
aus VORTERRASSE (A), sowie 7a, 10a, 13a
und 17a aus FLUGSAND (B).



Körnung verlagert ist.

Den gut abgerundeten, zum Teil länglich kantig zugeschliffenen Flugsanden wurden nach der Siebanalyse die Fraktionen von 0,1 bis 0,25 mm Korndurchmesser entnommen und auf ihren Schwermineralgehalt untersucht. Für die Auswertungsergebnisse siehe Kap. 3.

2.3.2. Holozän

2.3.2.1. Vorterrasse (ältere fluviatile Ablagerungen)

Die Vorterrassenablagerungen im Arbeitsgebiet sind mit größter Wahrscheinlichkeit nach der Eiszeit und zum erheblichen Teil erst in der wärmeren Nacheiszeit entstanden. Die Ablagerungen bestehen in den oberen Schichtlagen aus 10 bis 60 cm mächtigem Lehm, der sich in der Regel aus weichem, braunem und grauem feinsandigem Ton oder tonigem Feinsand zusammensetzt und fast überall anzutreffen ist. Der Lehm enthält Pflanzenreste, die stellenweise zu 30 bis 40 cm starken Torflagen umgewandelt sind (z.B. 900 m südöstlich von Seußling). Darunter folgen gröbere Ablagerungen, vorwiegend aus mehr oder weniger tonigem Sand, der mit vielen kleineren und größeren Schotterlagen durchsetzt ist, d.h. es besteht kein großer Unterschied zu der Ausbildung der Nieder- und Hochterrassen mehr. Die Vorterrassenschichten sind meist an der östlichen Seite des Tales anzutreffen; größte Verbreitung finden sie bei Dörfleins auf Kartenblatt Bamberg-Nord in dem Dreieck zwischen Kemmern, Bischberg und Bamberg, wo sie bis zu 6,7 m mächtig und bis zu 2,8 km breit werden (vgl. Abb. 1).

Eine Geröllanalyse von 250 Gesteinsstücken aus der Sandgrube dicht am Main südlich von Dörfleins zeigte ganz andere Ergebnisse als bisher im Regnitztal i.a.

der Fall war: es wurden hier nur 8% Kalke, 17% Quarzgerölle, 22% mesozoische Sandsteine, 5% Kieselschiefer und, einzig unter den Entnahmestellen, 48% gut gerundete schwärzliche Grauwackengerölle festgestellt, woraus folgt, daß die dortigen Ablagerungen bereits der Main-Vorterrasse angehören und nicht mehr der Regnitz-Terrasse. Zum Vergleich soll hier noch eine zweite Geröllanalyse mit gewöhnlichen Ergebnissen angegeben werden, die im allgemeinen stellvertretend für alle anderen Regnitz-Vorterrassen stehen kann. Das Geröllspektrum der Sandgrube westlich von Sassanfahrt zeigt nämlich 66% Kalk, 20% Quarz, die restlichen 14% bestehen nur aus mesozoischem Sandstein.

In der sehr gut aufgeschlossenen Kiesgrube nördlich von Erlach, in einem Regnitzmäander gelegen, wurde folgendes Profil von oben nach unten aufgenommen:

- | | |
|---|--------|
| 10. Lehm, dunkelbraun, stark sandig,
häufig mit Pflanzenresten durch-
setzt | 40 cm |
| 9. Feinsand, hell, mit vereinzelt,
5 cm mächtigen Kalklagen und
Quarzgeröllen | 90 cm |
| 8. Fein- bis Mittelsand mit zwei
Lagen schwarz verfärbter Sande | 45 cm |
| 7. Mittelsand, hell, mit drei kleinen
Kalkscherbenlagen, Quarzgerölle
in schmalen Lagen | 165 cm |
| 6. Kalkscherbenlage, Quarzgerölle
mit dunklen Sanden vermischt | 50 cm |
| 5. Mittelsand, schwach tonig, mit
vereinzelt größeren Kalkscherben | 40 cm |
| 4. Grober Sand und große Quarzgerölle,
vermischt mit Kalkscherben | 10 cm |

3. Grobsand mit Kalkscherben	35 cm
2. Kalkstücklagen mit 6 cm großen Quarzgeröllen	15 cm
1. Kalkscherben mit Sand vermischt	50 cm

Besonders auffällig in dieser Sandgrube ist das Auftreten von zahlreichen Baumstämmen, die bis zu 70 cm mittlerem Durchmesser und des Öfteren über 5 m Länge aufweisen. Sie finden sich parallel gelagert in einem Horizont in und um Lage 5. Meist ist ihre Oberfläche bis zu 10 cm tief vertorft, der innere Teil hat jedoch seinen holzigen Charakter bewahrt, ist aber stets dunkel- bis schwärzlich-braun verfärbt. Anzumerken wäre, daß kein Baumstamm gebrochen ist oder einen geringeren Durchmesser als 10 cm aufweist.

Den Lagen 6 und 8 wurden Geröll- bzw. Sandproben entnommen und einer, im zweiten Fall schwermineral-analytischen Untersuchung unterzogen, deren Ergebnisse in Kap. 3 eine genauere Darstellung erfahren. Für eine graphische Darstellung der Auswertungsergebnisse der meisten mittelkörnigen Vorterrassensande in bezug auf ihre Korngrößenverteilung siehe Abb. 4, Diagramm A.

Zeugnis dafür, welch gute wasserführende Schicht die Vorterrassen darstellen, sind die zahlreichen Bohrungen, die auf Blatt Bamberg-Nord vorgenommen werden. Im Untersuchungsmonat (Juni 1974) lag der Grundwasserspiegel zwischen 1,0 m in Bamberg in der Nähe der Regnitz und 3,6 m nordwestlich von Bamberg (vgl. auch 11.2.1.).

ZWEITER TEIL

SEDIMENTOLOGIE

3. Sedimentpetrographische und schwermineral-analytische Untersuchungen

3.1. Problematik der Probenentnahme

Das günstige und weitverbreitete Vorkommen der Terrassenablagerungen, die große Rolle, die die Terrassensande als wichtigste wasserführende Schicht im nördlichen Regnitztal spielen, und somit die hohe Bedeutung, die ihnen in bezug auf die Versorgung der umliegenden Ortschaften mit Trink- und Nutzwasser (Brauchwasser) zukommt, waren Veranlassung dazu, diese Sande sowohl petrographisch als auch schwermineral-analytisch zu untersuchen, wobei diese Analysen ausschließlich Flug- und Terrassensande, also nur Quartärablagerungen erfaßten. Die Sande des Rhätolias, Lias-Alpha 2 und -Alpha 3, sowie Dogger-Beta des Untersuchungsgebietes wurden vom Verfasser der vorliegenden Arbeit bereits im Rahmen einer Diplomarbeit analysiert (Erlangen 1972). In bezug auf sedimentologische Untersuchung von Keupersandstein wird auf Grund der Vergleichbarkeit auf zahlreiche andere Veröffentlichungen unter anderem von G. STAHL 1971 und B. SCHRÖDER 1975 verwiesen.

Aus Gründen der Vergleichbarkeit wurden Schlitzproben jeweils nur einer Sandsteinbank in möglichst gleicher Tiefenlage entnommen. Die Ergebnisse finden sich in den Tabellen 5a und 5b in der Spalte "Tiefenlage" ausgedrückt in "cm" und beziehen sich auf die Entfernung der Entnahmestelle von der Oberkante des Aufschlusses. Um den Ausmerzungseffekt der instabilen Mineralien wie z.B. Apatit durch die Verwitterung klein zu halten, wurde stets möglichst unverwittertes Ausgangsmaterial der Analyse zugrunde gelegt. Als Indikator für stark verwittertes Material erwies sich die Ausmerzung des Apatits durch starke Anätzung der

Übersicht über die untersuchten Proben für die Schwermineralanalyse

Proben- Nr.	Stratigraphi- sche Herkunft	Lokalität	ges. Probe (g)	Fraktionen O, 1-0,25mm (in g)	in %	Tiefenlage (in cm)
1a	Nd.-Terrasse	1,1 km W'Eggolsheim	400	98,48	24,62	40
1b	Nd.-Terrasse	1,1 km W'Eggolsheim	400	119,56	29,89	60
1c	Nd.-Terrasse	1,1 km W'Eggolsheim	400	74,20	18,55	90
1e	Nd.-Terrasse	1,1 km W'Eggolsheim	700	14,42	2,06	415
1f	ND.-Terrasse	1,1 km W'Eggolsheim	400	6,40	1,60	515
1g	Nd.-Terrasse	1,1 km W'Eggolsheim	400	45,78	11,44	585
2b	Nd.-Terrasse	1 km N'Bhf. Eggolsheim	400	15,95	3,99	170
3b	Nd.-Terrasse	1,3 km SE'Altendorf	400	65,40	15,34	220
4a	Vorterrasse	1 km SE'Seußling	400	6,39	1,59	130
5b	Vorterrasse	1,5 km SW'Dörfleins	400	24,69	6,17	120
6a	Hochterrasse	0,6 km E'Hallstadt	400	70,81	17,70	250
7a	Flugsand	1,5 km NW'Altendorf	660	45,36	6,87	110

Abb. 5b

Übersicht über die untersuchten Proben für die Schwermineralanalyse

Proben- Nr.	Stratigraphi- sche Herkunft	Lokalität	ges. Probe (g)	Fractionen 0,1-0,25mm (in g)	in %	Tiefenlage (in cm)
7h	Nd.-Terrasse	1,5 km NW'Altendorf	950	48,74	5,11	295
8d	Hochterrasse	0,7 km E'Hirschaid	630	19,38	3,08	250
9b	Vorterrasse	0,3 km W'Sassanfahrt	400	14,66	3,67	115
10a	Flugsand	0,4 km S'Kätkmannsdorf	400	48,44	12,11	135
11b	Vorterrasse	1,8 km NE'Erlach	400	13,04	3,26	130
12b	Nd.-Terrasse	1,3 km N'Hirschaid	400	2,46	0,61	240
13a	Flugsand	0,2 km NW'Strullendorf	400	51,65	12,91	125
14b	Hochterrasse	0,4 km N'Strullendorf	400	55,80	13,95	235
15a	Vorterrasse	1,1 km E'Neuhaus	400	2,29	0,57	140
16a	Vorterrasse	1,5 km E'Pettstadt	400	4,57	1,14	130
17a	Flugsand	3,0 km E'Bamberg	400	31,70	7,92	115

Körner. Schwierigkeiten ergaben sich nur bei wenigen Untersuchungsstellen, z.B. bei Hallstadt und nord-östlich von Hirschaid, wo aus Mangel an geeigneten anstehenden Aufschlüssen auf Proben von leicht angewitterten Gesteinen zurückgegriffen werden mußte. Zum Beweis dafür, daß die Verwitterung des Ausgangsmaterials gerade an diesen beiden Stellen eindeutig zur Zerstörung mancher instabiler Materialien geführt hat, vgl. Kap. 3.3.1. und 3.5.

3.2. Methodik

Die entnommenen Proben waren oft so mürbe und locker, daß sie sich leicht aufarbeiten oder sogar gleich nach dem Trocknen sieben ließen. Die nördlich von Hirschaid und östlich von Hallstadt entnommenen Proben dagegen mußten, nachdem der Versuch, die Proben in Wasser aufzulösen, gescheitert war, wegen ihres kalkigen Bindemittels erst mit einer Zwickpresse zerkleinert und anschließend in einem Mörser vorsichtig zerstoßen werden. Durch eine unvorsichtige Behandlung der Proben bei der Zerkleinerung wird oft ein Teil der Mineralkörner, vor allem Quarz, Feldspat, oder auch Granate zerbrochen, ein Vorgang, der sich nicht völlig vermeiden läßt.

Von den bei der Siebung angefallenen Korngrößenfraktionen wurde ausschließlich das Intervall von 0,1 bis 0,23 mm Durchmesser zur Bestimmung der Schwermineralien verwendet. Da die Schwermineralien in Feinkornfraktionen gewöhnlich mehr angereichert werden können als in Grobkornfraktionen, wurden sie stets aus gleichen Fraktionen abgetrennt (0,1 - 0,25 mm), um sie miteinander vergleichen zu können. Diese Fraktion enthält die wichtigsten Mineralien, nämlich Zirkon, Apatit, Monazit, Anatas, Rutil, Granat, Turma-

lin, die besonders reichlich auftreten und für die Schwermineralanalyse von entscheidender Wichtigkeit sind. Die Abtrennung der Schwermineralien von dem gesamten Material der Fraktion von 0,1 bis 0,25 mm erfolgt in der von SCHNITZER (1954 und 1957) geschilderten Weise mittels Bromoform CHBr_3 ($d = 2,88$ bis $2,89$ bei 20° bis 24°C), im Scheidetrichter oder auch durch Zentrifugieren, wobei im vorliegenden Fall die erstgeschilderte Methode angewandt wurde. Da die einzelnen Körner oft eine dünne Eisenhydroxid- $(\text{Fe}(\text{OH})_2)$ Schicht trugen, wurden die Konzentrate in einer Lösung von Natrium-Tartrat, in NaOH gekocht, wodurch der größte Teil der Eisenkruste als Weinsäurekomplex in Lösung ging. - Durch diese Methode lassen sich leider die starken Erzüberzüge nicht oder nur sehr schwer entfernen. Dieses Verfahren wird aber aus Einfachheitsgründen praktiziert und ist für die vorliegende Arbeit vollkommen ausreichend. Eine zweite Methode der Erz-entfernung mit Salzsäure ist grundsätzlich zu vermeiden, da hierbei Apatit und Monazit, die für die sedimentpetrographischen Auswertungen äußerst wichtig sind und reichlich vorkommen können, weitgehend durch eine derartige Säurebehandlung zerstört werden. Nach 15 bis 20-minütigem Kochen mit Natrium-Tartrat wurden die Konzentrate mit Wasser gut ausgewaschen und nach dem Trocknen in heißem Cedax ($n = 1,540 = \text{Canada-balsam}$) eingebettet. Danach wurden aus jedem Präparat 200 bis 250 voll durchsichtige Körner zuerst bestimmt und dann ausgezählt. Zur Bestimmung dienten hauptsächlich die Werke und Tabellen von W.E. TRÖGER (1959) und P. NIGGLI (1920). Die wichtigsten Eigenschaften der Mineralien, z.B. Lichtbrechung, optischer Charakter und morphologische Ausbildung wurden genau für jedes Korn untersucht und bestimmt. Tab. 5a und 5b zeigen die Menge der aus dem gesamten Material stammenden Fraktionen von 0,1 bis 0,25 mm Durchmesser,

Abb. 6a

Prozentualer Anteil der einzelnen Schwerminerale und opaker Anteil aus dem Flugsand sowie den Vor-, Nieder- und Hochterrassensanden des nördlichen Regnitztals

Proben-Nr.	Stratigraphische Herkunft	Zirkon	Turmalin	Rutil	Granat	Apatit	Anatas	Monazit	Opaker Anteil
1a	Nd.-Terrasse	14	12	15	10	45	4	-	75
1b	Nd.-Terrasse	3	3	22	5	59	8	+	72
1c	Nd.-Terrasse	7	15	24	5	47	2	-	67
1e	Nd.-Terrasse	3	2	6	62	24	2	1	65
1f	Nd.-Terrasse	7	2	13	32	44	1	1	60
1g	Nd.-Terrasse	13	3	10	16	57	1	1	65
2b	Nd.-Terrasse	9	2	3	36	46	2	2	65
3b	Nd.-Terrasse	4	7	8	31	46	2	2	70
4a	Vorterrasse	11	5	3	42	48	-	1	62
5b	Vorterrasse	49	34	-	5	9	3	-	41
6a	Hochterrasse	64	13	5	11	6	1	-	88
7a	Flugsand	20	15	5	52	8	-	+	55

Abb. 6b

Prozentualer Anteil der einzelnen Schwerminerale und opaker Anteil aus dem Flugsand sowie den Vor-, Nieder- und Hochterrassensanden des nördlichen Regnitztals

Proben-Nr.	Stratigraphische Herkunft	Zirkon	Turmalin	Rutil	Granat	Apatit	Anatas	Monazit	Opaker Anteil
7h	Nd.-Terrasse	15	3	6	69	7	+	-	68
8d	Hochterrasse	18	20	13	44	5	-	-	82
9b	Vorterrasse	11	6	7	27	49	-	-	65
10a	Flugsand	45	13	2	30	10	-	+	45
11b	Vorterrasse	39	8	3	37	13	-	+	60
12b	Nd.-Terrasse	11	2	5	43	39	-	-	65
13a	Flugsand	16	8	2	49	25	-	-	70
14b	Hochterrasse	18	10	8	20	44	+	-	80
15a	Vorterrasse	26	3	2	42	27	-	-	65
16a	Vorterrasse	4	2	2	27	63	-	2	60
17a	Flugsand	30	11	3	45	11	-	-	48

1
5
8
1

Tab. 6a und 6b die im analysierten Material vorhandenen Schwermineralien gemäß ihrer Anteile. Abb. 5a/b enthalten außerdem die stratigraphischen Bezeichnungen und die Standorte der Analysen als Ergänzung zu Abb. 1.

Der in Abb. 6a/b aufgeführte Opaker Anteil beträgt bei den Hochterrassenproben 80 bis 88%. Den geringsten Anteil an undurchsichtigen Körnern weisen die Main-Vorterrassenablagerungen und Flugsande des nördlichen Abschnitts im Hauptsmoorwald mit 41 bzw. 48% auf. Neben den Schwermineralien mit einem spezifischen Gewicht von mehr als 2,87 ($d = \text{größer als } 2,87$) werden bei dem Trennungungsverfahren auch Quarzkörner mit abgetrennt, die jedoch bei der Auswertung nicht berücksichtigt wurden.

3.3. Auswertung der Analysen und kurze Beschreibung der Mineralien

3.3.1. Hauptgruppen der Schwermineralien

3.3.1.1. Zirkon

Typisch für Zirkon in den Terrassenablagerungen des Regnitztales ist die gut ausgebildete, glänzende, prismatische bis keilförmige Gestalt, die fast nur in hellen Farben auftritt. Seine hohe Doppelbrechung von 0,053 und seine Lichtbrechung von 1,9 bis 2,0 können sehr gut in langprismatischen, ätzfreien Körnern der Hochterrasse bei Hallstadt beobachtet werden. Dagegen sind die Zirkonkörner der Niederterrasse bei Eggolsheim in allen untersuchten Lagen voll von Ätzgruben. Im Gegensatz zu den anderen Flugsandvorkommen des Gebietes weisen nur die Zirkonkörner in den Dünen bei Köttmannsdorf eine gut gerundete Gestalt auf. Zirkon ist ein fester Bestandteil aller untersuchten Proben (vgl. Abb. 6a und 6b), sein Anteil jedoch schwankt zwischen nur 4% in der Vorter-

rasse bei Pettstadt und 64% in der Hochterrasse bei Hallstadt, wo der maximale Anteil in den gesamten Proben erreicht wird. Das Verhältnis von kurz- bis langprismatischen Zirkonkörnern zu gerundeten bis stark verrundeten kann etwa mit 4:1 angegeben werden.

3.3.1.2. Turmalin

In den Regnitzvorterrassen finden sich Turmalinkristalle nur bis zu 8%, wobei diese aus unregelmäßigen, splittrigen und verätzten Körnern bestehen. Dagegen treten in der Main-Vorterrasse bei Dörfleins die typischen Turmalinkristalle mit einem 34%-igen Anteil an der gesamten Probe auf. Hier handelt es sich um einschlußfreie idiomorphe, prismatische, grünliche Kristalle.

In eckigen oder länglichen Bruchstücken, hellgelben bis bräunlichen Körnern, treten Turmalinkristalle in den Niederterrassensanden der Regnitz auf, machen aber allgemein nur einen geringen prozentualen Anteil an der Gesamtprobe aus (bis zu 15%). Die Kristalle sind oft reich an Einschlüssen. In Form von rundlichen bis kleintafeligen oder auch blättrigen Kristallen sind Turmalinkörner bis zu 45% in den Flugsanden des Arbeitsgebietes vorhanden. Ihre grünliche Färbung ist auch hier dominierend. In den gesamten Hochterrassen waren keine gut ausgebildeten Turmalinkristalle anzutreffen, obwohl sie bis zu 18% an den Schwermineralien beteiligt sind, sondern nur splittrige, eckige, stark verätzte, bräunliche Mineralkörner, die nicht selten (trotz der Vorbehandlung) zur Hälfte durch Erzmaterial verdeckt sind.

3.3.1.3. Anatas.

Anatas kommt im allgemeinen in sehr geringem Pro-

zentsatz vor, was unter anderem darauf zurückzuführen ist, daß dieses Mineral neben Apatit in bezug auf seine Härte (5) an der untersten Skala der Schwermineralien steht und dadurch schneller als die anderen Mineralien zerstört werden kann.

Anatas tritt meist in dunkelblauer bis schwarzer Färbung auf. Seltener anzutreffen ist dagegen eine gelbliche oder violette Farbe der kleinen Kriställchen, die dicht nebeneinander am Rand von Erzkörnern oder Apatitkristallen sitzen und oftmals von undurchsichtigen und opakeren Mineralien völlig überdeckt werden. Nur in den Schwermineralien der Sandgruben bei Eggolsheim treten in allen Lagen 1 bis 8% Anatas auf, wobei die oberflächennahen Lagen mehr Anatas-Kristalle beinhalten können als die darunterliegenden (vgl. Abb. 6a und 6b). Es handelt sich dabei um kleintafelige bläuliche Kristalle, die ausnahmslos starke Verätzungen zeigen. Nur die Schwermineralien einer Hochterrasse (Hallstadt) und einer Vorterrasse (Dörfleins) weisen einen geringeren Anteil (6% bzw. 3%) an Anatas-Kristallen auf. Daß überhaupt kein Anatas auftrat, war weder bei Terrassen noch bei Flugsand der Fall.

3.3.1.4. Apatit

Dieses Mineral gehört zu den wichtigsten und am weitesten verbreiteten Schwermineralien im gesamten fränkischen Raum und kommt hier in allen Analysen vor. Der Anteil an Brückstücken oder mit Erz verdeckten und verbundenen Kristallen kann in manchen Präparaten sehr hoch werden (fast ein Verhältnis von 10:1 in der Probe bei Hallstadt). Die Vorterrassen der Regnitz weisen im allgemeinen den höchsten prozentualen Anteil an Apatit in den Proben auf (vgl. Abb. 6a und 6b). Bis zu 63% steigt dieser in den Schwermineralien bei Pettstadt; bei Dörfleins, ebenfalls in der (Main-)

Vorterrasse gelegen, dagegen verringert er sich auf 9%. Auch bei Hochterrassensanden sind sehr starke Schwankungen des Apatitgehaltes festzustellen (zwischen 5 und 44%). Apatit-Kristalle sind im allgemeinen rundlich und unregelmäßig, selten prismatisch oder sogar idiomorph. Zahlreiche Einschlüsse von anderen Mineralien wie Zirkon oder verätzten Apatitkörnern sind fast in allen Präparaten zu beobachten. Einen ziemlich konstanten und hohen Apatitgehalt weisen die Niederterrassensande bei Eggolsheim auf. Die Apatitkristalle der Flugsande dagegen sind mit ihrem 10%-igen Gehalt so gut ausgebildet, daß sich trotz der niedrigen Licht- und Doppelbrechung ihr optischer Charakter bestimmen läßt.

3.3.1.5. Rutil

Rutilkristalle sind meist unregelmäßig begrenzt, häufig treten sie auch in Form von langgestreckten, mehr oder weniger gut idiomorphen Prismen (z.B. in allen Hochterrassen- und Flugsanden) auf. Die Farbe des Rutils variiert zwischen tiefblaurot, orange und dunkelbraun. Rutil war an allen Analysen beteiligt, die einzige Ausnahme stellte, wie bereits bei anderen Schwermineralien, wieder die Main-Vorterrasse bei Dörfleins dar, die überhaupt kein bestimmbares Rutil enthielt (vgl. Abb. 6a und 6b). Seine maximale Anreicherung erreicht dieses Mineral in den Niederterrassensanden bei Eggolsheim mit 24%; hier sind die besonders häufigen Rutilkristalle fast immer mit einem Zonarsaum verbunden, so daß sie zum Teil mit Erzüberdeckungen verwechselt werden können. Starke Verätzung oder Einschlüsse sind bei Rutil kaum zu beobachten.

3.3.1.6. Granat

Granat ist ein sehr weit verbreitetes Mineral, das in allen Lagen und Analysen vorkommt (vgl. Abb. 6, S. 57). In den Flugsanden ist er mit 30 bis 52%, bei den Niederterrassen mit wenigen Ausnahmen mit über 30% und in den Hochterrassen mit 11 bis 44% vertreten. Wieder bildet die Vorterrasse bei Dörfleins mit einem nur 5%-igen Anteil an Granat eine Ausnahme, wobei in der Regnitzvorterrasse der Granatgehalt zwischen 27 und 42% schwankt. Dabei kann die Größe der Granatkörner sehr verschieden sein. Die Körner sind nicht gerundet, gelegentlich sogar idiomorph (Hochterrasse bei Hallstadt). Im Vergleich zu den übrigen Schwermineralien sind Kristalle im allgemeinen relativ groß und enthalten nicht selten verschiedenartige Einschlüsse von Mineralien (Niederterrasse bei Altendorf).

3.3.2. Nebengruppen der Schwermineralien

Neben den oben beschriebenen Hauptgruppen treten in den Analysen noch andere Mineralien auf, die sehr selten, d.h. nur in wenigen Präparaten und bis maximal 2% auftauchen. Dazu gehört auch der in Abb. 6 aufgeführte Monazit, der nur in unteren Lagen der Niederterrassensande bei Eggolsheim mit ca. 1 bis 2%-igem Anteil in Erscheinung tritt. Es handelt sich um ein braunes, fast gerundetes, stark verätztes, nicht idiomorphes Mineral mit rauher Oberfläche.

In den Vorterrassen des südlichen Arbeitsgebietes bei Seußling oder Pettstadt treten die besten Monazitkristalle, dunkelbraune idiomorphe Kristalle mit Einschlüssen, rauher Oberfläche und parallel verlaufenden Ätzgruben auf, und zwar ebenfalls mit 1 bis 2%.

Neben den bestimmbaren Monazitkristallen kommen andere

Schwermineralien vor in Form von unbestimmbaren Bruchstücken, die in den vorliegenden Abbildungen und Auswertungen keine Berücksichtigung finden sollen. So sind in den Niederterrassen etwa noch Schwerspäte mit zahlreichen Ätzgruben an der Oberfläche zu finden, die durch Verwitterung oder während des Transportes entstanden sind.

3.4. Vertikale Schwermineralführung

Für eine möglichst konkrete Aussage über die Terrassensande des Regnitztales ist eine spezifizierte Bestandsaufnahme der vertikalen sowie horizontalen Schwermineralführung erforderlich, wozu zunächst eine auf kartistischer Basis Stück für Stück erstellte lithographische Gliederung der Terrassen ausgearbeitet werden muß. Da im vorliegenden Raum die Gliederung der Terrassen in großem Rahmen abgeschlossen ist, wurde die Profilaufnahme nur auf eine einzige Sandgrube beschränkt, wobei allen Lagen Proben entnommen und diese schwermineralanalytisch untersucht wurden. Die Sandgrube 1,1 km westlich von Eggolsheim bot sich als am geeignetsten an, da in diesem Raum die Niederterrasse ihre maximale Mächtigkeit erreicht und offen zu Tage tritt. Die Probenahme erfolgte an dieser Stelle jeweils an den lithographischen Horizonten, die den ausgeprägten Aufbau der einzelnen Horizonte mit ihrem Gesteinswechsel und folglich auch mit ihrem Schwermineralgehalt zeigt. Da die Korngrößenverteilung der Sande in bezug auf ihre Schwermineralführung von größter Bedeutung ist, wurde zunächst allen Lagen 1a bis 1g ausnahmslos eine Probe entnommen (für Angaben über Tiefenlage, Probennummer und lithographische Ausbildung siehe Abb. 5a und 5b sowie Abb. 8). Um feststellen zu können, welche Lage sich am besten für Schwermineralanalysen anbietet, bzw. in welcher Lage sich die größtmögliche Anreicherung an Schwermineralien findet, wurde der prozentuale Anteil der Franktionen von 0,1 bis 0,25 mm in den einzelnen Sandschichten berechnet. Die tabellarische und graphische Darstellung der Untersuchungsergebnisse in Abb. 7 zeigt deutlich, wo und in welcher Tiefe sich die

Abb. 7

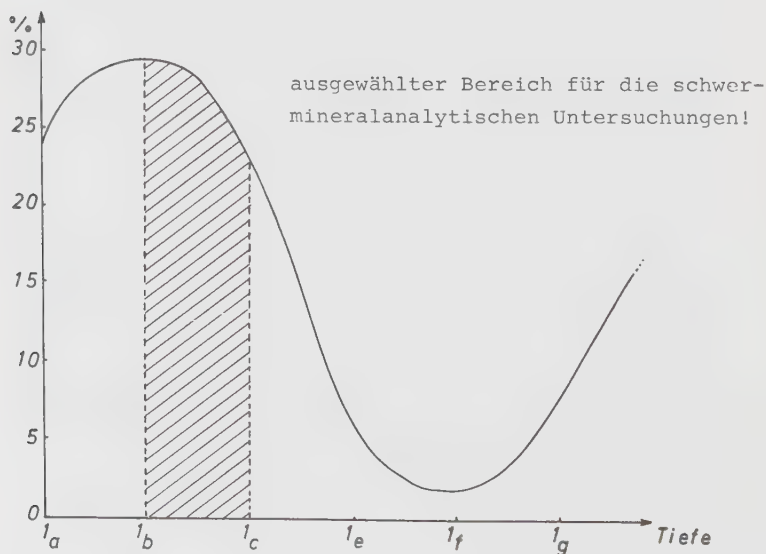
Vertikale Änderung der Fraktionen 0,1 - 0,25 mm
in der Niederterrasse

(Entnahmestelle: ca. 1,1 km W'Eggolsheim)

a) tabellarisch:

Proben- Nr.	ges. Probe g	Fraktionen 0,10-0,25mm in g	in %	Tiefenlage in cm
1a	400	98,48	24,62	40
1b	400	119,59	29,89	60
1c	400	74,20	18,55	90
1e	700	14,42	2,06	415
1f	400	6,40	1,60	515
1g	400	45,78	11,44	585

b) graphisch:



Sandlage befindet, in der die höchstmögliche Zahl von Sandkörnern der Fraktion 0,1 bis 0,25 mm und folglich die maximale Konzentration an Schwermineralien trotz der Verwitterung vorhanden ist. Diese so ermittelte Lage, die im Arbeitsgebiet in 90 bis 130 cm Tiefe liegt, wurde generell (mit geringen Abweichungen nach oben und unten) bei der Probenahme berücksichtigt. - Ohne dieses Problem nochmals graphisch oder tabellarisch anzuschneiden sei darauf hingewiesen, daß diese Ergebnisse mit $\pm$ 20 bis 40 cm Unterschied auch auf die Vorterrassen und Hochterrassen anwendbar sind, während bei den Flugsanden ungefähr die genannte Tiefenlage weiter gelten kann. -

Die Ablagerungen der Niederterrassen bestehen gewöhnlich aus mehreren Sand- durchzogen mit Schotterlagen. Das in Abb. 8 dargestellte Profil mit seinen Schwermineralprovinzen ist ein typisches Beispiel, das auch für andere Niederterrassen-Sandgruben gelten kann.

In tieferen Lagen unterhalb von 6 m findet sich eine Apatit-Granat-Assoziation mit kaum nennenswertem Zirkongehalt. Eindeutigere Assoziationsverhältnisse zwischen Mineralien herrschen in einer Lage um 5 m Tiefe (1f), wo Apatit und Granat zusammen mit Rutil die ausschlaggebenden Mineralien darstellen.

Die Lage 1e ist als deutlicher Wendepunkt bezüglich der Mineralführung in der Niederterrasse zu bezeichnen. Ein hoher Prozentsatz an Apatit und ein noch dominierender Anteil an Granat kennzeichnen die Apatit-Granat-Provinz in einer Tiefe von 4,15 m. Alle übrigen Mineralien machen zusammen nur 11% der gesamten Schwermineralien in den groben Sanden der Niederterrasse aus.

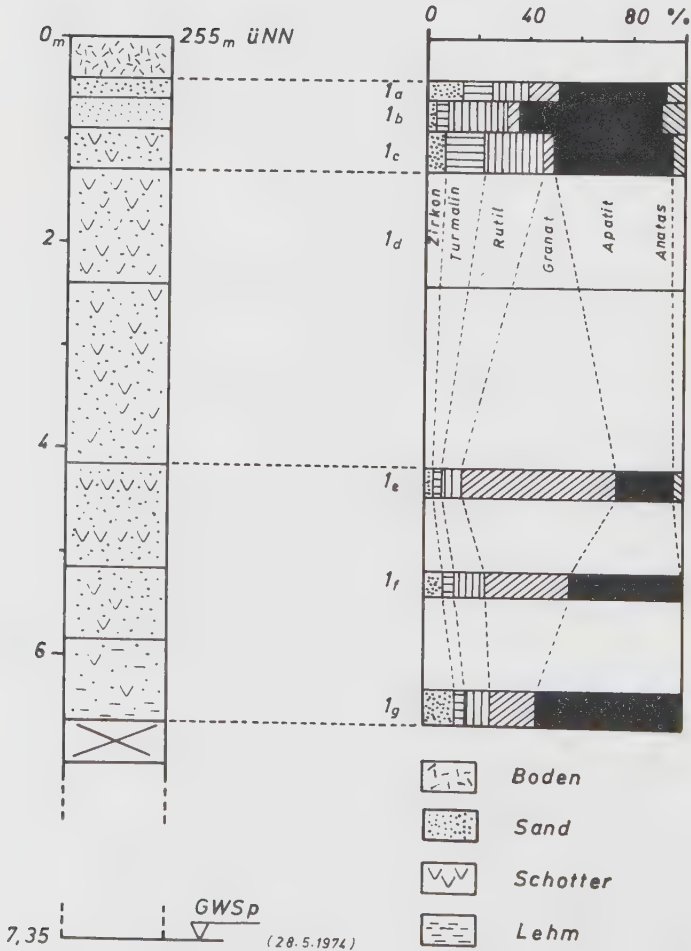
Mit einem 2%-igen Anteil beginnt nun Anatas in Erscheinung zu treten. Eine starke Abnahme des Granats

Abb. 8

VERTIKALE VERTEILUNG der Schwermineralien
in den Niederterrassensanden

(Standorte 1_a bis 1_g :

stillgelegte Sandgrube 1,1 km W' Eggolsheim).



bis auf wenige Prozent unter mäßiger Zunahme des Apatits und insbesondere des Rutil charakterisieren die Schwermineralführung in Lage 1c, die nun eine Apatit-Rutil-Turmalin-Provinz mit fast 90% der Mineralien bildet. Zirkon und Anatas bleiben noch annähernd konstant.

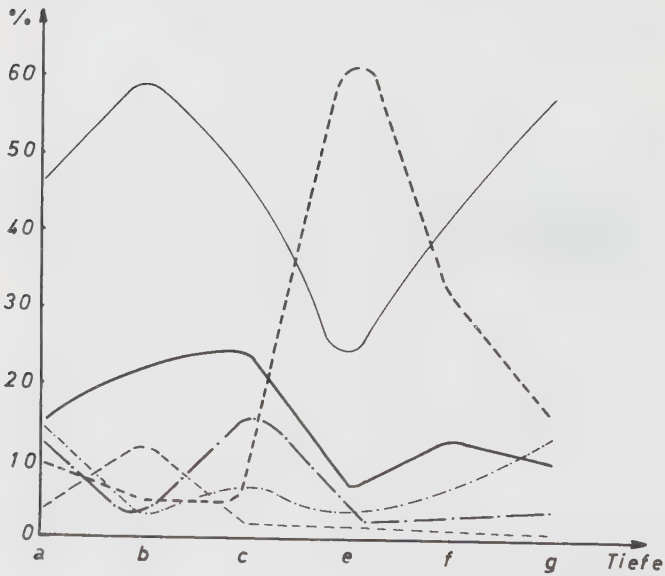
In den oberen Lagen 1a bis 1c ist die gleichmäßige Abnahme von Apatit, Rutil und ab Lage 1b auch von Anatas ausschlaggebend, die hauptsächlich auf Oberflächenverwitterung, Ausmerzung und Abtransport durch das Wasser zurückzuführen ist. Anatas tritt hier in geringer aber fast konstanter Menge von unter 4% auf. Nur in Lage 1b erreicht er einen maximalen Anteil und ist mit 8% an der Gesamtmenge der Schwermineralien beteiligt. Das relativ hohe Vorkommen an Anatas ist nicht zuletzt darauf zurückzuführen, daß die Anatas-Kristalle gewöhnlich sehr klein sind und sich am besten in Feinsanden ansammeln, wodurch in der Lage 1b, die den maximalen Anteil an Feinsand überhaupt in dem ganzen Profil aufweist, mehr Kleinkristalle des Anatas anzutreffen sind. Für eine Veranschaulichung der Änderung in der Schwermineralführung siehe Abb. 9.

Der mineralogische Wendepunkt bei Lage 1e zeigt sich deutlich dadurch, daß Granat seinen Anteil besonders auf Kosten von Rutil und Apatit auf über 60% steigern kann. In Oberflächennähe nimmt der Apatitgehalt wieder ab, wobei dieser Zustand auch auf die Instabilität der Kristalle zurückzuführen ist (SCHNITZER 1954). Turmalin und Zirkon können im großen und ganzen ihren prozentuellen Anteil weiter behaupten. Das geringe, aber kontinuierliche Vorkommen von Zirkon, Rutil und Turmalin zeigt neben seiner hohen Stabilität auch, daß es schon primär in geringen Mengen sedimentiert worden ist, da Zirkon, Turmalin und Rutil im Gegensatz zu Granat gegenüber diagenetischem Abbau weit-

Abb. 9

Änderung der Schwermineralführung in
VERTIKALER Richtung.

(Sandgrube 1.1 km westlich Eggolsheim)



LEGENDE:

- Zirkon
- . - . - Turmalin
- Apatit
- Granat
- Anatas
- Rutil

gehend stabil sind.

3.5. Horizontale Schwermineralführung

3.5.1. Änderung in der Hochterrasse

Das Verbreitungsgebiet der Hochterrasse zieht sich in Südwest-Nordost-Richtung in einer Länge von über 15 km hin und weist in Abständen von etwa 5 bis 6 km voneinander einige Aufschlüsse auf. Mit einem Anteil von 5 bis 20% sind Apatit, Rutil, Turmalin und Zirkon in der Sandgrube bei Hirschaid vertreten; die einzige Ausnahme macht der Granat, der einen 45%-igen Anteil einnimmt (vgl. Abb. 11, S. 73). Eine enorme Steigerungsrate zeigt sich bei Zirkon, der sich bei Hallstadt mit rund 60% angeben läßt. Nach einer Zunahme von bis zu 44% bei Strullendorf fällt der Apatitgehalt innerhalb weiterer 10 km, wo Rutil, Turmalin und Granat einen 5 bis 20%-igen Anteil an den Schwermineralien ausmachen, wieder auf 6% ab. In den Hochterrassensanden bei Hallstadt sind Zirkon allein mit über 60% (eine typische Zirkonprovinz) und die übrigen Komponenten zusammen mit rund 40% am Aufbau der Schwermineralien beteiligt. Die Zirkonkristalle bei Hallstadt gehören zu den bestausgebildeten Kristallen des Untersuchungsgebietes; Turmalin und Rutil besitzen hier eine parallel verlaufende Ausbreitung, wobei zu bemerken ist, daß der Rutilwert stets um zwei Prozent unter dem des Turmalins liegt.

3.5.2. Änderung in der Niederterrasse

Der Schwermineralgehalt der einzelnen Lagen eines Profils ist in vertikaler Richtung oft großen Schwankungen unterworfen. Da sich manche Schwermineralien oft nur in einer bestimmten Fraktion des Sandes sammeln, weisen die Lagen darüber oder darunter oft

Abb. 10 Änderung des Schwermineralgehaltes in den HOCHTERRASSENSANDEN
des nördlichen Regnitztales (in %)



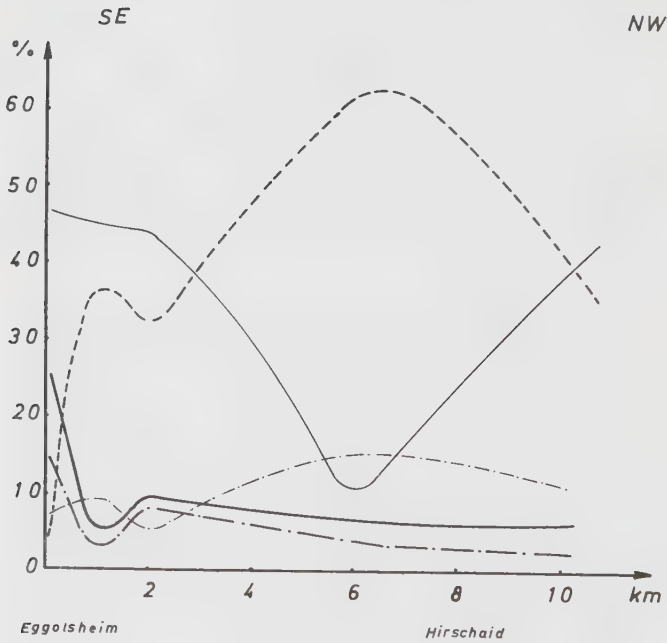
ganz andere Schwermineralkonzentrationen auf (vgl. 3.4.). Durch Probenahmen in einem einzigen Horizont im gesamten Gebiet versucht man möglichst, diese Schwankungen auszugleichen, um die wirklich abgelagerten Schwermineralien mit ihren Veränderungen zu ermitteln, wobei sich jedoch das Fehlen von Aufschlüssen und Bohrungen als wichtiges Hindernis für einen weiträumigen Vergleich der Schwermineralien bemerkbar macht. Im vorliegenden Gebiet wurde versucht, allen Sandgruben und Aufschlüssen Proben zu entnehmen, um möglichst genaue und konkrete Aussagen über die Verbreitung und die Parallelisierung der Schwermineralien machen zu können.

Im Arbeitsgebiet sind die Niederterrassen nur in der südlichen Hälfte in großer Ausdehnung vorhanden (vgl. Abb. 1.). So wurden von Eggolsheim, dem südlichsten Punkt, bis nördlich von Hirschaid, d.h. in einer Länge von ca. 10 km, allen Niederterrassensanden wie in 3.1. und 3.2. geschildert, Proben entnommen und diese analysiert. Für die Auswertungsergebnisse siehe Abb. 11. Der markanteste aus dieser Abbildung ersichtliche Faktor ist wohl die umgekehrte Proportionalität von Apatit- und Granat-Kristallen. Im Raum Eggolsheim ist Granat mit ca. 5%, Apatit mit 47% vertreten. Etwa 6 km in nordwestlicher Richtung jedoch ändert sich das Verhältnis so, daß nun der Apatit-Gehalt nur 10% beträgt, der Granatanteil dagegen bis zu 60% ansteigt, wobei sich interessanterweise der größte Anstieg des Granats bereits in den ersten 2 km vollzieht.

Im Gegensatz dazu zeigen Rutil und Turmalin im gesamten Untersuchungsgebiet den gleichen Anteil und eindeutige Parallelität. Der Turmalinwert liegt stets unter dem des Rutils, wobei die beiden nach Nordwesten zu stets abnehmen.

Abb. 11

Änderung des Schwermineralgehaltes in den
NIEDERTERRASSENSANDEN des nördlichen
Regnitztales (in %)



LEGENDE:

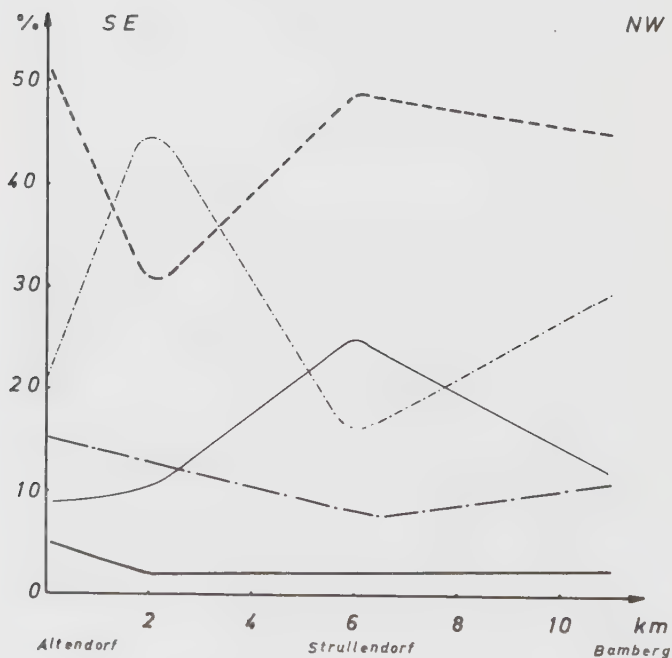
- Zirkon
- . - . - Turmalin
- Apatit
- Granat
- Rutil

Zirkon ist mit einem 10%-igen Gehalt durch seine konstante Verbreitung gekennzeichnet. Alle übrigen Mineralien, die einen Anteil von weniger als 2% aufweisen (z.B. Monazit) oder nur stellenweise vorkommen (z.B. Anatas) wurden bei der Darstellung aus Gründen der graphischen Darstellung nicht berücksichtigt; ihre absoluten Prozentzahlen sind den Abbildungen 6a und 6b zu entnehmen.

3.5.3. Änderung in den Flugsanden

Eine Veränderung des Schwermineralgehaltes in den Flugsanden ist im vorliegenden Gebiet nur in einer Länge von rund 11 km zu beobachten, da im südlichen Bereich kein oder nur ein sehr kleines Vorkommen von Flugsand anzutreffen ist, das Hauptverbreitungsgebiet dagegen im Nordabschnitt des Regnitztales zu suchen ist (vgl. Kap. 2.3.1.3., sowie Abb. 1). Im Südwesten von Blatt Buttenheim war allein bei Altendorf eine Probenahme möglich. Dominierende Schwermineralien im Flugsand sind Granat und Zirkon, sowie in geringem Maße Apatit. Rutil, Turmalin, Monazit und Anatas sind, prozentual gesehen, von geringerer Bedeutung. Auffällig bei den beiden erstgenannten Mineralien ist ihre deutliche Korrelation im gesamten Gebiet (vgl. Abb. 12): dem maximalen Anteil an Granat steht der minimale Anteil an Zirkon gegenüber. Bei Altendorf oder auch Strullendorf weist Granat seine stärkste Verbreitung auf, wogegen bei Hirschaid (eine Meßstation zwischen den beiden genannten Orten) Zirkon seine höchste Verbreitung im gesamten Arbeitsgebiet erreicht. Der Apatitgehalt erreicht in den Dünen bei Strullendorf, ähnlich wie bei den Hochterrassensanden, seine höchstmögliche Verbreitung mit 25% der gesamten Schwermineralien. Auch hier zeigt Rutil stets eine geringere Verbreitung als Turmalin, und zwar erreicht es einen

Abb. 12
 Änderung des Schwermineralgehaltes in den
 FLUGSANDEN des nördlichen Regnitztales
 (in %.)



LEGENDE:

- Zirkon
- Turmalin
- Apatit
- Granat
- Rutil

5%-igen Anteil gegenüber dem 10 bis 15%-igen des Turmalins.

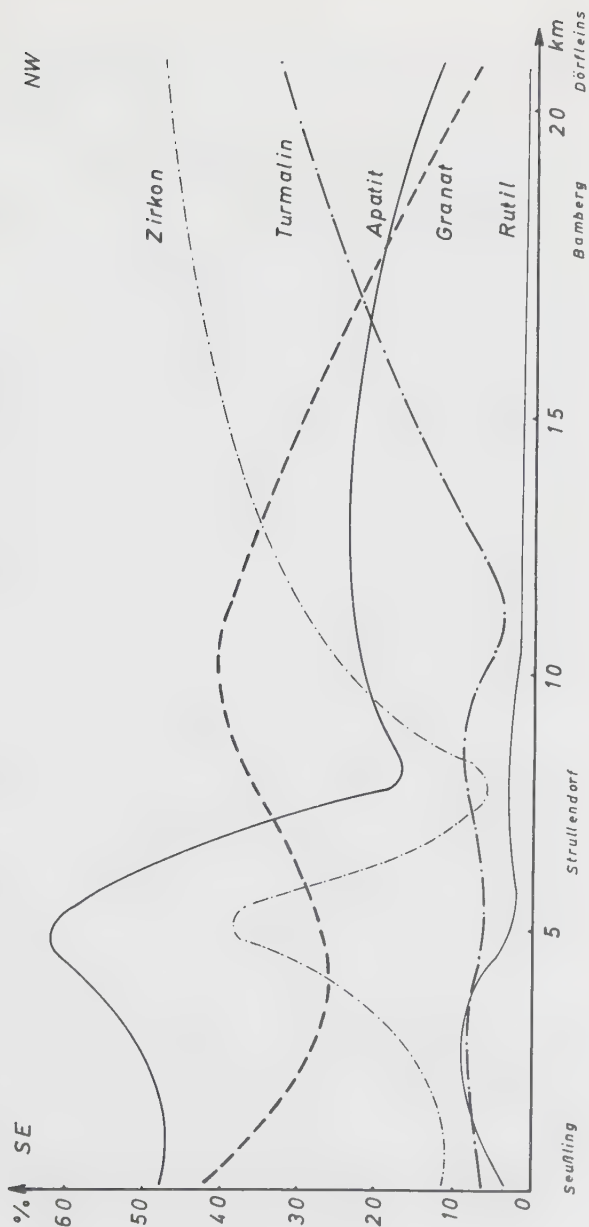
3.5.4. Änderung in der Vorterrasse

Die Vorterrassensande lassen sich in einem 20 km langen Profil besonders gut schwermineralanalytisch untersuchen. Der nördlichste Aufschluß liegt ca. 2 km oberhalb der Regnitz und einige 100 Meter nördlich des Mains, weswegen er oft als Main-Vorterrasse bei Dörfleins bezeichnet wurde (vgl. Abb. 1). Nicht nur in bezug auf ihr Geröllspektrum (vgl. Kap. 2.3.2.1.), sondern auch in bezug auf ihren Schwermineralgehalt zeigt diese Terrasse fast völlig andere Mineralzusammensetzungen als die Regnitzterrassen bis km 16 (vgl. Abb. 13). Eine gewisse Relation zeigen schon am Anfang der Terrasse (von Seußling bis Strullendorf) die Apatit- und Zirkon-Mineraie, die eine Schwermineralprovinz darstellen. Der Zirkonanteil steigt bei km 5 von 11 auf 40%, der Apatitgehalt von 48 auf 60% an, um später bei Strullendorf (km 8) wieder auf einen 10 bzw. 20%-igen Anteil zurückzufallen (vgl. Abb. 13). Während von Strullendorf nach Nordwesten Apatit einen mehr oder weniger gleichen Prozentsatz aufweist, nimmt der Zirkongehalt kontinuierlich, bis zu 50% zu, wobei dieser höchste Wert nur in der Main-Terrasse erreicht wird. Der prozentuelle Anteil des Turmalins entspricht in den Vorterrassensanden dem in den Hoch- bzw. Niederterrassensanden der Regnitz, wobei er allerdings in der Mainterrasse sehr rasch wieder bis zu 34% steigt, einem der höchsten Werte unter allen Analysen. Eine hohe Prozentveränderung unterliegt auch der Granat. Bei Seußling setzt sich das Schwermineralspektrum aus Granat mit 42% und Apatit mit 48% zu einer deutlichen Granat-Apatit-Provinz zusammen, die bis Strullendorf

und noch weiter anhält. Beim Verlassen des Regnitztales treten Granatkristalle mit rund 30% in Erscheinung. Von dem 42%-igen Granatanteil sind jedoch in der Main-Vorterrasse nur noch 5% anzutreffen, da die oben genannte Mineralprovinz sich völlig in eine Turmalin-Zirkonprovinz mit einem Anteil von zusammen 83% umgewandelt hat. Apatit oder Rutil kommt hier nur noch untergeordnete Bedeutung zu.

Abb. 13

Änderung des Schwermineralgehaltes in den VORTERRASSENSANDEN
des nördlichen Regnitztales (in %)



DRITTER TEIL

HYDROGEOLOGIE

4. Hydrogeologische Gegebenheiten

Das Untersuchungsgebiet gehört zum fränkischen Keuper- und Juraland, das durch eine Wechselfolge von harten und weichen Gesteinen gebildet wird. Der morphologischen Gliederung des Gebietes entsprechen in der Regel die hydrogeologischen Horizonte. Der Westteil, der Keuper, besteht aus Wechsellagerungen von Sandstein mit verschiedenen Körnungen, Tonen und Letten. Nur in den flach nach Osten bis Südosten abfallenden Sandsteinen können überhaupt Wasserhorizonte vorkommen, die allerdings durch starke Abflussschwankungen gekennzeichnet sind. Im Ostteil stellt unter den Jura-Ablagerungen der flächenmäßig am weitesten verbreitete, kalkig-dolomitische, zum Teil verkarstete weiße Jura einen ausgedehnten Grundwasserhorizont dar. Bedingt durch die Ausbildung des oberen Jura treten oft riesige Dolinen auf, die als natürliche Trichter die Oberflächenwässer aufnehmen und sie in das unterirdische Karstwassersystem leiten, das als natürlicher Wasserspeicher wirkt, der auch in den Trockenzeiten der Sommermonate im Gegensatz zum Keuper einen gleichmäßigen Abfluß des Karstwassers garantiert. Das schnelle Versickern des Wassers im verkarsteten Malm oder in Dolinen macht oft hygienische und wasserwirtschaftliche Überlegungen notwendig, die nicht selten zu einer weitgehenden Einschränkung der Nutzung von hartem und meist sauerstoffarmem Karstwasser führen.

Der darunterliegende Grundwasserhorizont des Doggersandsteins gibt im Gegensatz zum Malm keinen Grund für Bedenken bei der Nutzung des Wassers, wegen seiner geringen Ergiebigkeit ist er jedoch nur von regionaler Bedeutung. Das Wasser im Juragebiet gehört zu einem der vier hydrologischen Großräume des vorliegenden Gebietes, die sich vom äußersten Nordosten im Malm

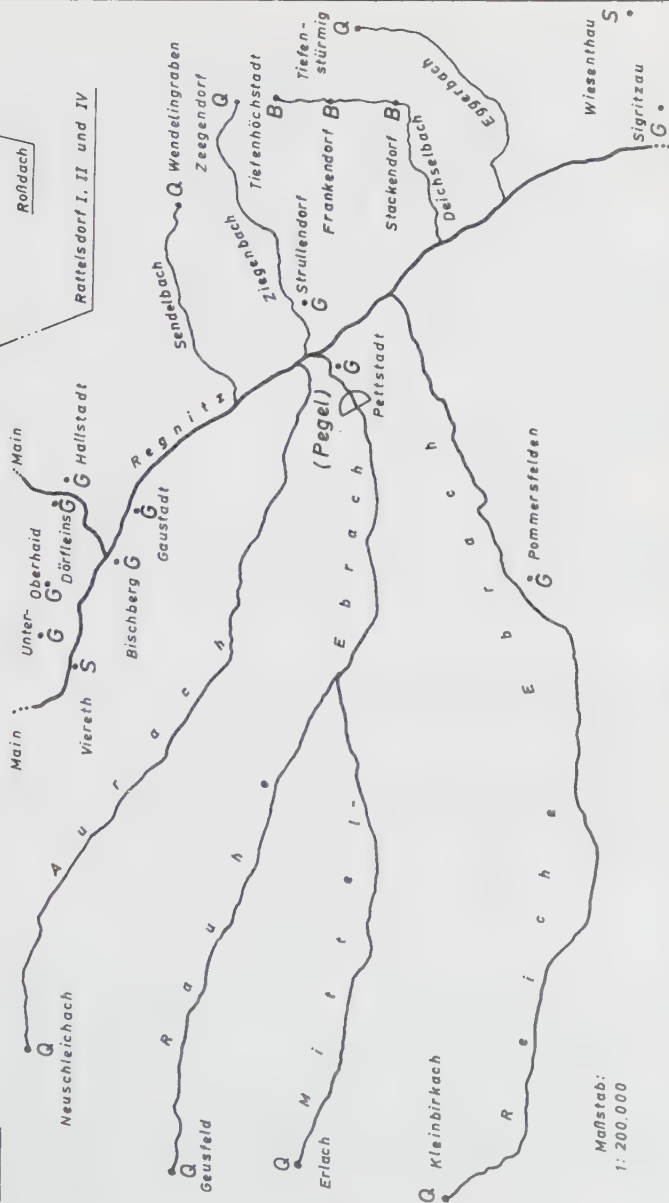
nach Südwesten in die Gegend von Kleinbirkach (nordwestlich von Geiselwind) hinziehen, und die wichtigsten übereinanderliegenden hydrogeologischen Stockwerke aufbauen (vgl. Abb. 14).

Das zweite hydrologische Gebiet besteht aus einer 7 bis 15 km breiten Zone mitten im Regnitztal. Hauptsächlich aus Terrassen bestehend, handelt es sich um ein für die Wassererschließung mäßiges bis gutes Gebiet. Die vorhandenen Bohrungen oder Quellen reichen bei weitem nicht aus, um die Industriezentren von Bamberg, Forchheim oder auch Hirschaid und Strullendorf ausreichend mit Trink- oder Industrierwasser zu versorgen. Das nötige Betriebswasser wird durch Fernleitung vom Fichtelgebirge bzw. aus Nord-Oberfranken in die genannten Zentren geleitet. Als gut ergiebige Quellen erweisen sich seit kurzem die Erschließungsgebiete um Eggolsheim. Für die Wasserversorgung der Stadt Bamberg kommt hauptsächlich das Wasser der pleistozänen sandigen Ablagerungen des Hauptsmoorwaldes im Osten der Stadt in betracht. Hier befinden sich fünfundvierzig Sammelbrunnen mit einer Tiefe bis zu 5 m. Mit einem Härtegrad von $9,9\text{dH}^{\circ}$ (davon $8,7^{\circ}$ Karbonathärte) und einer Jahrestemperatur von 8 bis 12° Celsius wird das Wasser hauptsächlich als Trinkwasser verwendet.

Ein bedeutendes Grundwasservorkommen wurde darüber hinaus kürzlich im Raum Altendorf-Buttenheim in den Rhätoliasablagerungen erschlossen, allerdings ist es wegen seines niedrigen Härtegrades und seiner Sauerstoffarmut ohne vorherige Aufbereitung nicht als Trinkwasser geeignet. Die Wassererschließung begann hier 1971 mit vier Bohrungen, deren größte eine Tiefe von

Lage der (HAUPT-)QUELLEN der Regnitz-Zuflüsse(Q.), der Boh-
rungen zur Ermittlung des GRUNDWASSERSPIEGELS(G), der BRUN-
NEN zur Wasserversorgung (B) und der Quellen, an denen re-
gelmäßige SCHÜTTUNGSMESSUNGEN vorgenommen werden (S).

Abb. 14



Maßstab:
1:200.000

60 m erreicht.

Ein parallel zum Regnitztal laufendes, steilherzynisch streichendes Gebiet mit 7 bis 18 km Breite bildet den dritten hydrologischen Raum im Sandsteinkeuper. Die Grundwasservorkommen dieses Fränkischen Sandsteins besitzen vielfach nur geringe bis mäßige Ergiebigkeit und sind von unterschiedlicher Beschaffenheit, bieten jedoch zahlreichen kleinen bis mittleren Orten eine ausreichende Versorgungsgrundlage. Mit zunehmender Mächtigkeit dieses Grundwasserleiters ist gleichzeitig eine etwas günstigere und höhere Ergiebigkeit zu beobachten.

Westlich von diesem Gebiet, wo die Flüsse des Westabschnittes (Aurach, Reiche, Mittel- und Rauhe Ebrach) ihre Hauptquellen haben, tritt in einer 31 km breiten Zone der letzte hydrologische Raum auf. Dieser hat allerdings nur mittelbar einen Einfluß auf die vorliegenden Wasseranalysen, da es sich hierbei um sehr geringe Wassermengen handelt, die allenfalls durch tiefe Bohrungen bis auf den Schilfsandstein zu erschließen sind. Somit können die hier an der Grenze zwischen Lehrbergschichten und Sandsteinkeuper auftretenden Quellen oft nur für den örtlichen Bedarf verwendet werden.

4.1 Wasserstauende Ablagerungen

Der hydrogeologische Aufbau des Untersuchungsgebietes zeigt in bezug auf Verbreitung, Ausbildung, Mächtigkeit und Durchlässigkeit der verschiedenen Stufen eine Wechsellagerung von übereinanderliegenden wasserstauenden, tonigen Gesteinen mit wasserdurchlässigem Sand- und Karbonatstein, die zahlreiche Schichtquellen entstehen lassen. Diese Stufen, von

denen zumindest der überwiegende Teil aus undurchlässigen Gesteinen besteht, bilden die Grundwassersohle (oder den Grundwasserstauer). Es handelt sich dabei um Gesteine, deren Poren so klein oder deren Klüfte so eng sind, daß bei normalem hydraulischen Druckgefälle keine wesentliche Wassermenge durchdringen kann. Auch Gesteine, die weniger als die darüberliegenden Schichten durchlässig sind, bilden als untere Grenzfläche eines Grundwasserleiters die genannte Grundwassersohle.

Im Arbeitsgebiet treten unter dem wasserleitenden Sandsteinkeuper sehr häufig die roten, sehr feinen Lehrberg-Schichten als Grundwassersohle für viele Quellen im Westteil des Regnitztales auf. Den an der Basis des Feuerletten festzustellenden, geringmächtigen und feinkörnigen Ansbacher Schichten kann in diesem hydrologischen Überblick keine Bedeutung beigemessen werden.

Im Lias bilden nur die 30 bis 40 m mächtigen Amaltheen-Schichten die eigentliche Grundwassersohle. Auch hier im Lias kann den darüberliegenden 3 bis 5 Kalkbänken des Posidonienschiefers nur geringe Beachtung geschenkt werden. Die tonigen Ablagerungen von Lias-Beta bis Lias-Delta bilden vom Osten bis Norden des Gebietes die Geländeoberfläche. Oft stauen sie das Oberflächenwasser, das sich in Vertiefungen ansammelt und so zu Versumpfungen Anlaß gibt.

Ein vollkommen undurchlässiges Schichtpaket stellt der Beginn des Doggers mit seinen 65 bis 80 m mächtigen Tonen des Alpha (Opalinuston) dar, dessen Eigenschaften als guter Grundwasserstauer zahllose Quellen an der oberen Grenzfläche verdeutlichen. Auch der 10 bis 20 m starke Obere Dogger, der sogenannte Ornatenton, bildet einen guten Wasserstauer, der sich sehr deutlich durch das hangende, wasserreiche Malm-Paket bemerkbar macht.

4.2. Wasserleitende Ablagerungen

Die flächenmäßig am weitesten verbreiteten durchlässigen Gesteine sind die mächtigen Ablagerungen des Oberen Keupers d.h. des Burgsandsteins. Sie treten unmittelbar über den Lehrberg-Schichten, und zwar nur im Westteil des Gebietes auf, beginnend mit dem Blasensandstein, einem feinkörnigen, tonigen, löchrigen, wasserhaltigen Sandstein, der bis zu 25 m stark wird. Der Blasensandstein bildet oft zusammen mit tonigen Sanden eine Wechselfolge, die nach der Verwitterung und dem Auflösen ihres karbonatischen Bindemittels, einen schwach ergiebigen Kluft-Grundwasserleiter mit mäßiger Qualität darstellen. Die Blasensandsteinwässer sind durch ihre 12 bis 16 Grad deutsche Gesamthärte und ihren Mangangehalt gekennzeichnet. Ihr Karbonatgehalt beträgt ca. 10 dH⁰. Über dem Blasensandstein folgt als zweites Glied des Sandsteinkeupers der fein- bis mittelkörnige Coburger Sandstein mit einer Mächtigkeit von etwa 10 m und derselben petrographischen Ausbildung. Er führt auch einen Kluft-Grundwasserleiter mit geringer Ergiebigkeit und mäßiger Güte. Als eigentlicher Teil des Sandsteinkeupers tritt der 90 m mächtige, weit verbreitete mittel- bis grobkörnige Burgsandstein auf, der stellenweise von kleinen linsenförmigen Tonlagen durchzogen ist. In seiner karbonatisch-dolomitischen Ausbildung stellt der Burgsandstein einen Poren- und Kluftgrundwasserleiter dar, der wegen einer Gesamthärte von 10 dH⁰, seiner Sauerstoffarmut und seines Eisen- und Mangangehaltes eine mittlere Wassergüte besitzt. Generell liefern die Blasen-, Coburger- und Burgsandsteine des Keupers je nach Mächtigkeit, Klüftigkeit und Grobkörnigkeit des Grundwasserleiters 2 bis 12 Liter Wasser pro Sekunde. Wesentlich ergiebiger als die Keupersandsteine ist der Porengrundwasserleiter der Rhäto-Lias-Schichten. Die

grobkörnigen Sande dieses Wasserhorizonts können, wie bereits erwähnt, im Raum Buttenheim bis Eggolsheim zwischen 12 und 120 Liter Grundwasser pro Sekunde liefern. Das gelegentliche Vorkommen des Oberrhät-Tons (Psilonoten-Ton) kann manchmal das Porenwasser des Unteren Lias stauen, oder bei geeignetem Gefälle als Quelle austreten lassen. Die Doggersandsteinschichten sind trotz ihrer Mächtigkeit bis zu 83 m kein ergiebiger Porengrundwasserleiter, da sie im vorliegenden Gebiet, wie später noch zu sehen sein wird, von sehr feinkörniger Struktur sind. Die Wässer aus dem Doggersandstein sind darüber hinaus eisenhaltig und deshalb nicht für jeden Zweck verwendbar. Besonders wenn das Wasser aus dem frischen Doggersandstein unter der Talsohle gewonnen wird, ist es erst nach Entfernung des Eisens brauchbar (z.B. Tiefbrunnen bei Heiligenstadt). Das Grundwasser des kalkig-dolomitischen Malms ist dagegen sehr reichlich und für die Versorgung von Bedeutung, allerdings, wie aus zahlreichen Untersuchungen zu ersehen ist, sind diese Wässer kalkhaltig und gelegentlich auch magnesiumreich (z.B. Brunnen in Frankendorf). Über dem wasserstauenden Ornatenton treten zahlreiche Quellen aus, die häufig zur Trinkwasserversorgung der Ortschaften gefaßt sind (z.B. in Tiefenhöchstadt). Dörfer auf der Albhochfläche (z.B. nordöstlich von Blatt Buttenheim), die früher hauptsächlich auf Regenwasser angewiesen waren, werden heute fast ausschließlich aus dem Karstgrundwasser versorgt. Durch zahlreiche Pumpstationen wird das Quellwasser aus den Tälern hochgepumpt. Die Tiefbrunnen auf der Albhochfläche mußten bis auf den Ornatenton abgeteuft werden, um das Wasser aus den Malm-Alpha-Quellen zu erreichen. Von größter Wichtigkeit sind die Porengrundwasser der Terrassen entlang der Regnitz. Mit ihren großen Porenräumen, bedingt durch zahlreiche Grobsand- und Kieslagen, sind die Terrassenablagerungen

ergiebigere als Malm- und Keuper-Schichten. Wie zum Teil bereits in Kap. 2.3. und 4. erwähnt wurde, erreichen die Bohrungen der Terrassen eine Förderungs-
zahl von 6 bis 12 Liter pro Sekunde. Es handelt sich dabei hauptsächlich um mittelhartes Porenwasser, das als Trinkwasser verwendet werden kann (z.B. nördlich von Bamberg und im unteren Wiesenttal).

Die Ergiebigkeit eines Grundwasserleiters ist jedoch nicht allein von den Faktoren Mächtigkeit, Klüftigkeit oder Gefälle abhängig. Vielmehr ist auch die Porosität (der Durchlässigkeitsgrad) des Wasserleiters zu beobachten, die eine wesentliche Rolle in bezug auf Wasserführung und -vermögen des Porengrundwassers spielt. Die Lias-Alpha-Schichten fördern zusammen mit dem Rhät im Raum Buttenheim - Eggolsheim einen beachtlichen Teil des dortigen Trink- und Brauchwassers. Das Brunnensystem in den quartären Ablagerungen bei Bamberg liefert der Stadt einen großen Teil des nötigen Trinkwassers. Die Doggersandsteine dagegen stellen nur einen mäßigen Porengrundwasserleiter dar, der allein örtliche Bedeutung erlangen kann. Die Wichtigkeit des Porenvolumens bzw. der Durchlässigkeit des Gesteins, bedingt durch die Körnigkeit des Wasserleitermaterials, wird durch folgende Untersuchungsdaten aus dem Jahre 1972 (durch den Autor) verdeutlicht: Es wurden jeweils vier Sandproben an verschiedenen Stellen einer Bank von Dogger und Unterem Lias und je eine von Flug-, Nieder- und Hochterrassensanden des Arbeitsgebietes entnommen und siebanalytisch auf ihre Körnigkeit und ihren prozentualen Anteil an der gesamten Probe untersucht. Wie aus der folgenden Abbildung zu ersehen ist, beträgt der Anteil des Mittel- und Grobsandes (hier: von 0,4 mm Korndurchmesser) bei den quartären Ablagerungen 89 bis 95,6%, bei den Lias-Ablagerungen (ohne Rhät-Proben)

55,4% und bei den niedrigen bis maximal mäßigen Grundwasserleitern des Doggersandsteins nur noch 0,28%, was einen ausgesprochen niedrigen Ergiebigkeitsgrad bedeutet.

Stratigraphische Herkunft	Fraktionen 0 bis 0,4 mm in %	Fraktionen 0,4 bis 2,0 mm in %	Summe
Dogger-Beta	99,62	0,28	99,80
Lias-Alpha 2 u. 3	43,96	55,42	99,38
Hochterrasse	3,90	95,63	99,53
Niederterrasse	5,33	93,46	98,79
Flugsand	9,07	89,48	98,55

Als Beispiel für die geringe Ergiebigkeit von Doggersandstein-Quellen mag wohl die Tatsache gelten, daß es einer Zeit von 35 bis 45 Minuten bedurfte, bis der Doggerquelle bei Ketschendorf zwei Liter Wasser entnommen werden konnten. Wie aus den Abbildungen im Anhang und insbesondere Abb. 97 und 99 ersichtlich, ist bei den Dogger-Beta-Quellen bei Friesen und Misten-dorf eine relativ lange Trockenperiode von fünf bis sieben Monaten im Jahr zu verzeichnen. Die Förderungszeit dieser beiden Quellen beschränkte sich trotz reichlichen Niederschlags auf die Winter- und Herbstmonate, obwohl sie die größten Einzelquellen in einem ausgedehnten Quellhorizont des Doggers sind.

5. Methodik und Problematik der Probenahme

5.1. Allgemeine Vorarbeiten

Die Beschaffenheit der Wasserproben ist in den meisten Fällen von Zeitpunkt und Ort der Entnahme abhängig, wobei es eine regelmäßige und langfristige Entnahme ermöglicht, Veränderungen der Wasserbeschaf-

fenheit in bestimmten Zeitabschnitten zu verfolgen.

Zum Zweck der Untersuchungen wurden die Entnahmestellen jeweils vor und nach einem oder zwei Dörfern, bei Flüssen vor den Einmündungsstellen, bei Quellen bzw. Brunnen direkt an der Austrittsstelle gewählt, damit der Einfluß menschlicher, tierischer, industrieller und landwirtschaftlicher Abwässer und Verschmutzungen besser beobachtet werden konnte (vgl. Abb. 15 kombiniert mit Abb. 16). Da die Kontrolle und die Messungen für eine relativ lange Zeit vorgeplant waren, wurden von Anfang an solche Meßstationen bevorzugt, die während der gesamten Kontrolldauer unverändert und erreichbar bleiben würden. Sehr sorgfältige Entnahme der Wasserproben, zweckmäßige chemische Untersuchung, klare Zielsetzung und Regelmäßigkeit sind unbedingte Voraussetzungen jeder hydrogeologischen Arbeit. Da sich die mineralischen Inhaltsstoffe der Proben durch physikalisch, chemische oder biologische Reaktionen in sehr kurzer Zeit verändern können, muß verhindert werden, daß das Wasser während des Transportes und der Aufbewahrung seine Eigenschaften durch äußere Einflüsse, wie z.B. Licht, Temperatur usw. verändert. Je länger der Zeitraum zwischen Entnahme und Analyse ist, desto ungenauer und unzuverlässiger sind die Ergebnisse.

Die Durchführung einer hydrogeologischen Arbeit ist im Vergleich zu rein chemischen Untersuchungen zum Teil an keinen festen Platz, wie z.B. ein Laboratorium usw. gebunden, so daß man sich bereits an der Entnahmestelle und im Gelände mit gezielter Fragestellung und Klärung mancher geologischer oder hydrogeologischer Probleme befassen muß. Von der Zielsetzung der Arbeit hängt auch ab, welches Wasser welcher geologischen Einheit entnommen werden soll. Im vorliegenden Arbeits-

Abb. 15

Verteilung der PROBENENTNAHMESTELLEN (mit entsprechenden Nummern) für die in dieser Arbeit durchgeführten hydrogeologischen Untersuchungen.

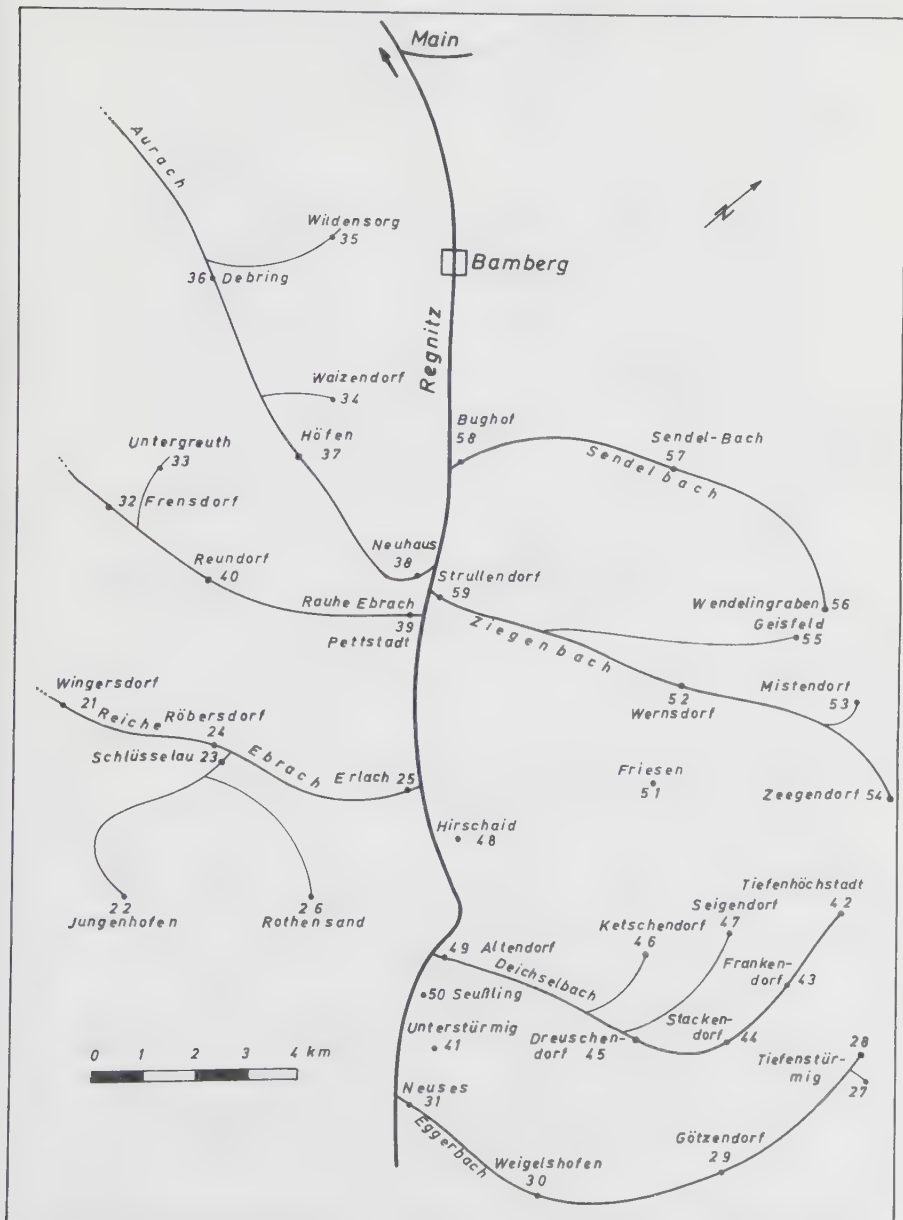
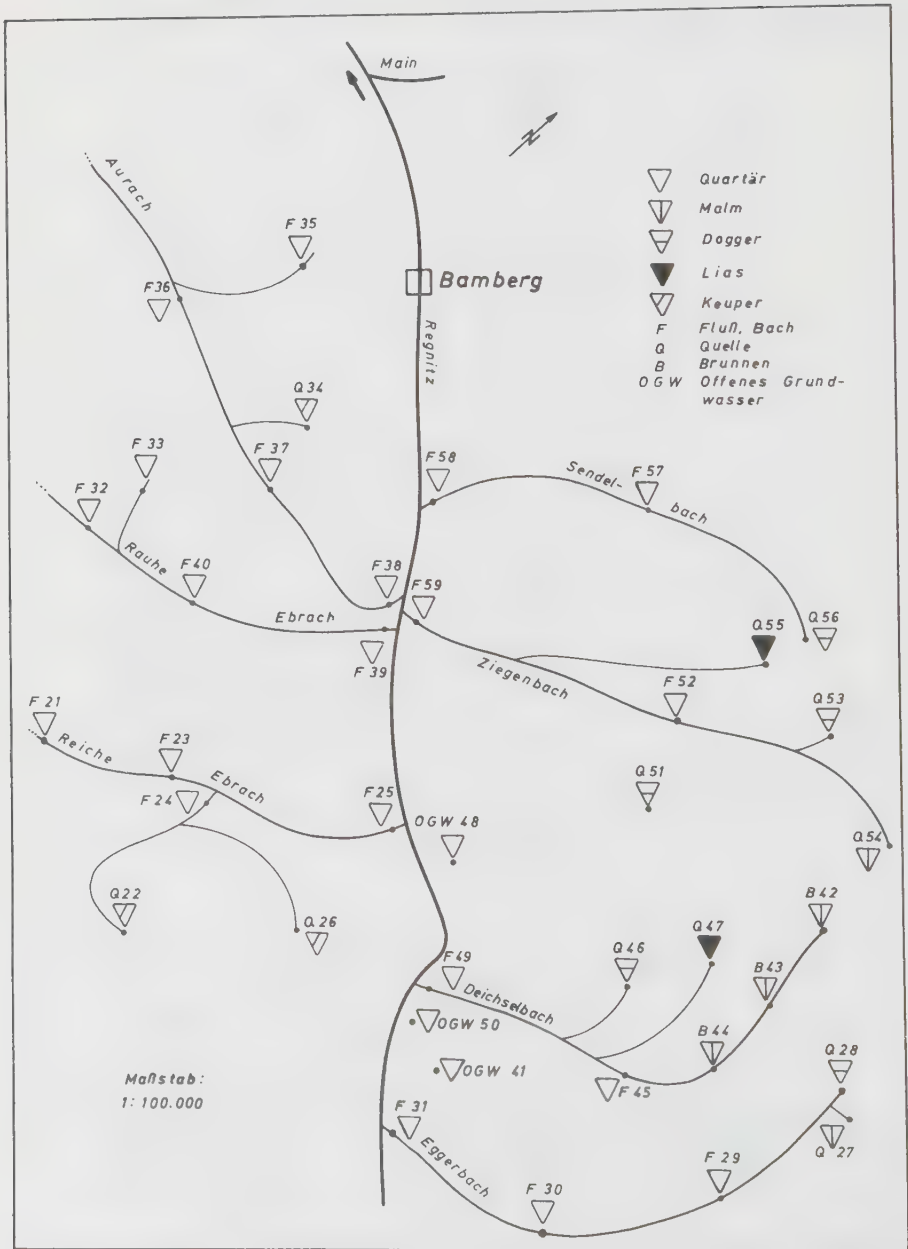


Abb. 16

STRATIGRAPHIE, LAGE, ART und NUMMER der
Wasserproben im Untersuchungsgebiet.



gebiet, wo Wasser vom Oberen Keuper bis einschließlich zum Malm und Quartär, sowie als Quell-, Fluß-, Brunnen- und sogar Grundwasser vorkommt, wurde versucht, aus jeder geologischen Abteilung mindestens zwei Proben zu analysieren. Da aber in diesem Arbeitsgebiet Flüsse bzw. zu untersuchende Bäche vorhanden sind, konzentrieren sich 21 der insgesamt 39 ausgewählten Meßstellen auf Flußwasserproben. Ihre Standorte wurden alle als Quartär bezeichnet, obwohl ihre (Haupt-) Quellen eine andere stratigraphische Position aufweisen (vgl. Abb. 17 und Abb. 14). Der Keuperablagerung wurden drei, der Lias- zwei und der Doggerablagerung fünf Quellwasserproben entnommen (vgl. Abb. 16 kombiniert mit Abb. 15). Als Malmernahmestellen wurden zwei Quellen und drei Brunnen ausgesucht, wobei die drei letzten von ihren Austrittsstellen durch Rohre bis zu Quartär-Terrassen geleitet werden und später als Trinkwasser Verwendung finden. Als Grundwassermeßstellen boten sich drei offene Sandgruben in den quartären Vor- und Niederterrassen östlich und westlich der Regnitz an. Das offene Grundwasser der Vorterrasse liegt südlich von Seußling zwischen Regnitz und dem Rhein-Main-Donau-Kanal.

Das Untersuchungsgebiet wurde in vier Routen mit jeweils neun bis elf Meßstationen eingeteilt, wobei die Wasserproben jeder Route im ganzen Jahr regelmäßig wöchentlich jeweils montags gesammelt wurden. Nach einer bestimmten gleichbleibenden Reihenfolge wurden die jeweils zwei Liter entnommene Wasserprobe auf 17 bis 18 Parameter chemisch und physikalisch untersucht. Da dem Wasser grundsätzlich kein Konservierungsstoff zugeführt wurde, mußten die Analysen spätestens innerhalb von 48 Stunden abgeschlossen sein, wobei folgende Reihenfolge der Untersuchung eingehalten wurde: Chlor, Silikat, Nitrit, Hydrazin,

Abb. 17

Hydrographisches Verzeichnis der Regnitz-Zuflüsse zwischen Eggolsheim und Bamberg

Name	Lage der Hauptquelle(n) üNN	Stratigraphie der (Haupt-) Quellen	Lokalität der Quellen	Länge in km	Einmündungs- stelle	Höhe der Einmündungs- stelle üNN
Aurach	462	Keuper	3,2 km westlich Neuschleichach	36,1	Neuhaus	236,1 1
Rauhe Ebrach	410	Keuper	2,5 km westlich Geusfeld	41,3	Pettstadt	236,5 9 4
Mittel-Ebrach	430	Keuper	4,3 km südwestlich Ebrach	41,7	Grasmannsdorf	261,5 1
Reiche Ebrach	398	Keuper	1,5 km nördlich Kleinbirkach	50,4	Erlach	241,3
Sendelbach	421,5	Dogger	Wendelingraben	10,4	Bughof	238,1
Ziegenbach	449,5	Malm	Zeegendorf	13,1	Strullendorf	240,1
Deichselbach	462,7	Malm	Tiefenhöchst	12,4	Altendorf	243,0
Eggerbach	428,5	Malm u. Dogger	Tiefenstürmig	13,7	Neuses	248,4

Phosphat, elektrische Leitfähigkeit, Eisen, KMnO_4 -Verbrauch, Chlorid, Sulfat, Calcium, Magnesium, sowie Bestimmung der verschiedenen Härtegrade (vgl. auch 6.1.). Die absoluten Ergebnisse wurden nach der Auswertung auf Durchschnittswerte umgerechnet, die in Form von Abb. 67 bis Abb. 105 der vorliegenden Arbeit eingefügt sind. Monatswerte sind bis auf ein Zehntel, Jahresdurchschnittswerte bis auf ein Hundertstel genau angegeben. Zum Zweck der Allgemeingültigkeit, Vergleichbarkeit und einfachen Umrechenbarkeit wurden die Daten über Härtegrad in dH° , die elektrische Leitfähigkeit in μS (Mikro-Siemens) und die übrigen Angaben in ppm ausgedrückt.

5.2. Quellwasser-Entnahme

Wichtigstes Gebot bei der Entnahme von Wasser aus den Quellen ist, das Wasser unbedingt möglichst unmittelbar und frisch zu entnehmen. Eine Vermischung mit den umliegenden Gewässern, vor allem mit Regen- oder Schneewasser im Winter, muß auf jeden Fall verhindert werden. Die Doggersandstein-Quellen des Arbeitsgebietes zeigen alle (mit einer einzigen Ausnahme : Quelle westlich von Tiefenstürmig, 28) geringe Ergiebigkeit. Das Quellwasser mußte deshalb unmittelbar an der Austrittsstelle in eine vorher vorbereitete Vertiefung (von 30 bis 50 cm Tiefe) geleitet werden, um dann zur Entnahme mit einem kleinen Becher abgeschöpft werden zu können (Beispiele: die Quellen bei Friesen Nr. 51 und bei Ketschendorf Nr. 46; vgl. Abb. 15 und Abb. 16). Alle Quellen im Untersuchungsgebiet waren normale Schichtquellen, deren Austrittsstellen auf einem Abhang mit 10 bis 50° Böschungswinkel lagen (vgl. auch 10.1.). Gelegentlich mußte die Meßstelle unterhalb des Quellensystems an der Stelle des Zusammenflusses von mehreren Einzelquellen ange-

legt werden, da diese nicht ergiebig genug waren, um eine Vermischung von frischem mit altem, stehendem Wasser zu verhindern. In solchen Fällen mußten alle Quellen zusammen - ähnlich wie bereits erwähnt - in eine Vertiefung eingeleitet und dann abgeschöpft werden. Das Wasser solcher Quellen stammt von einem einzigen Quellhorizont, der deutlich im Gelände zu erkennen ist (Beispiele: Quellen 22 und 53 bei Jungenhofen und Mistendorf). Nicht überall war es möglich, unmittelbar an die Austrittsstelle zu gelangen. Der Zutritt zur Quelle östlich von Tiefenstürmig war z.B. durch einen Zaun verwehrt, weshalb die Meßstelle ca. 15 bis 20 m unterhalb der eigentlichen Austrittsstelle verlegt werden mußte. Daß diese Verlagerung die Untersuchung chemisch nicht im geringsten beeinflussen konnte, wurde dadurch festgestellt, daß Wassertemperatur und Sauerstoffgehalt der Quelle das ganze Jahr über fast konstant blieben und außerdem die geringen Schwankungen sowie sämtliche anderen chemischen Eigenschaften sich in gleicher Weise und demselben Maß bemerkbar machten wie bei den übrigen, direkt erreichbaren Malm-Quellen, deren Austrittsstellen in gleicher Höhenlage und stratigraphischer Stufe lagen.

An der Austrittsstelle der Lias-Quelle bei Seigendorf (47) setzte sich stets eine dünne Eisenschicht ab, die auf das stark eisenhaltige Wasser zurückzuführen ist. Geringe, aber konstante Ergiebigkeit war charakteristisch für dieses aus vier Einzelquellen bestehende Quellsystem. Die Entnahme der Wasserproben mußte hier mit höchster Vorsicht vorgenommen werden, da die Eisenschichten an der Austrittsstelle sich sehr leicht vom Boden lösen und in die Probe fallen konnten, wodurch verfälschte Werte des Eisengehaltes entstehen konnten.

5.3. Fließende Gewässer

5.3.1. Probeentnahme an Flüssen

Schwieriger als bei Quellen ist die Probeentnahme bei fließenden Gewässern. Nicht allein auf durch die Jahreszeit oder durch augenblickliche und vorhergehende Wetterverhältnisse bedingte Veränderungen der Wassermengen ist hierbei zu achten, sondern auch Wasserführung, Einleitungsstellen von Abwässern und Einmündungen von Nebenbächen sind nicht zu übersehende Faktoren. Die Wasserproben müssen an einem sanften Prallhang vom Boot oder einer Brücke aus von der Strömungslinie entnommen werden. Das fließende Wasser soll zumindest an der Entnahmestelle ruhige bis mäßige Strömung und niedrige Fließgeschwindigkeit aufweisen, da bei starkem Aufprall des Wassers an der Bachseite oder am Brückenkopf der Gehalt an gelösten Gasen stark verändert wird. Problematisch ist die Wasserentnahme in engen Tälern (z.B. von Tiefenstürmig bis Götzendorf), während der Niederschlagszeit, da durch die starke Neigung der Talhänge das Niederschlagswasser landwirtschaftliche Schmutzstoffe und Düngemittel in den Bach hineinspült. Die Wassertiefe an der Entnahmestelle ist insoweit von Bedeutung, als die Probe möglichst 25 bis 35 cm unterhalb der Wasseroberfläche (allgemein im obersten Drittel) zu entnehmen ist. Auch Stellen, an denen das Wasser sich auf natürliche Weise ohne menschlichen Eingriff staut, können als Meßstellen ausgewählt werden. Bei zu langsamer Strömung, die künstlich zustande gekommen ist, wachsen kleine Wasserpflanzen, Moos oder ähnliches in reichlicher Menge und verändern den Sauerstoffgehalt des Wassers. Solche Stellen sind etwa dort anzutreffen, wo die im Ostteil gelegenen Bäche den Main-Donau-Kanal erreichen und zur Regnitz weiterfließen sollen. Da die Bäche an dieser Stelle unter dem Kanal hindurchgeleitet werden, sind

Stauungen nicht zu vermeiden. Ganz im Gegensatz zu den bereits genannten Voraussetzungen für eine Entnahmestelle wurden die Meßstationen Wildensorg (35) und Untergreuth (33) ausgewählt. Die Quellen, die diese beiden Dörfer zum Teil mit Brauchwasser versorgen, liegen direkt oberhalb der Dörfer und das Wasser fließt von dort aus direkt durch die Ortschaften weiter. Die beiden Meßstationen wurden dicht am Ortsende ausgesucht, um die höchstmögliche menschliche und gewerbliche Verschmutzung durch die beiden kleinen bis mittelgroßen Ortschaften zu ermitteln.

Die Meßstation Röbersdorf wurde kurz vor der Einmündung eines Nebenbaches in die Reihe Ebrach gewählt, da das Wasser der Quellen bei Jungenhofen, das bis zu diesem Punkt fast ohne menschliche Beeinflussung fließt, an dieser Stelle mit den Abwässern eines Aluminiumwerkes vermischt wird. Die Untersuchungen an Ort und Stelle ergaben einen Rückgang des Sauerstoffgehaltes um 0,9 ppm und eine Temperaturerhöhung von 1,9°C innerhalb von 20 m Laufstrecke, d.h. vor und nach dem Eintritt der Abwässer. Das Wasser an dieser Stelle ist milchig rosa und enthält oft weiße Flocken, die eine Zeitlang im Wasser schweben. Nicht selten mußte dieses Wasser bis zu drei mal filtriert werden, um seine ursprüngliche klare Farbe wieder zu erhalten. Die weißen Flocken setzten sich nach 10 Stunden völlig als Niederschlag ab. Am 9.6.75 wurde sogar ein pH-Wert von nur 4,2 gemessen. Außer den oben genannten chemisch-physikalischen Eigenschaften war, im Jahresdurchschnitt betrachtet, keine Änderung mehr festzustellen, weshalb auf die Konservierung des Wassers verzichtet wurde.

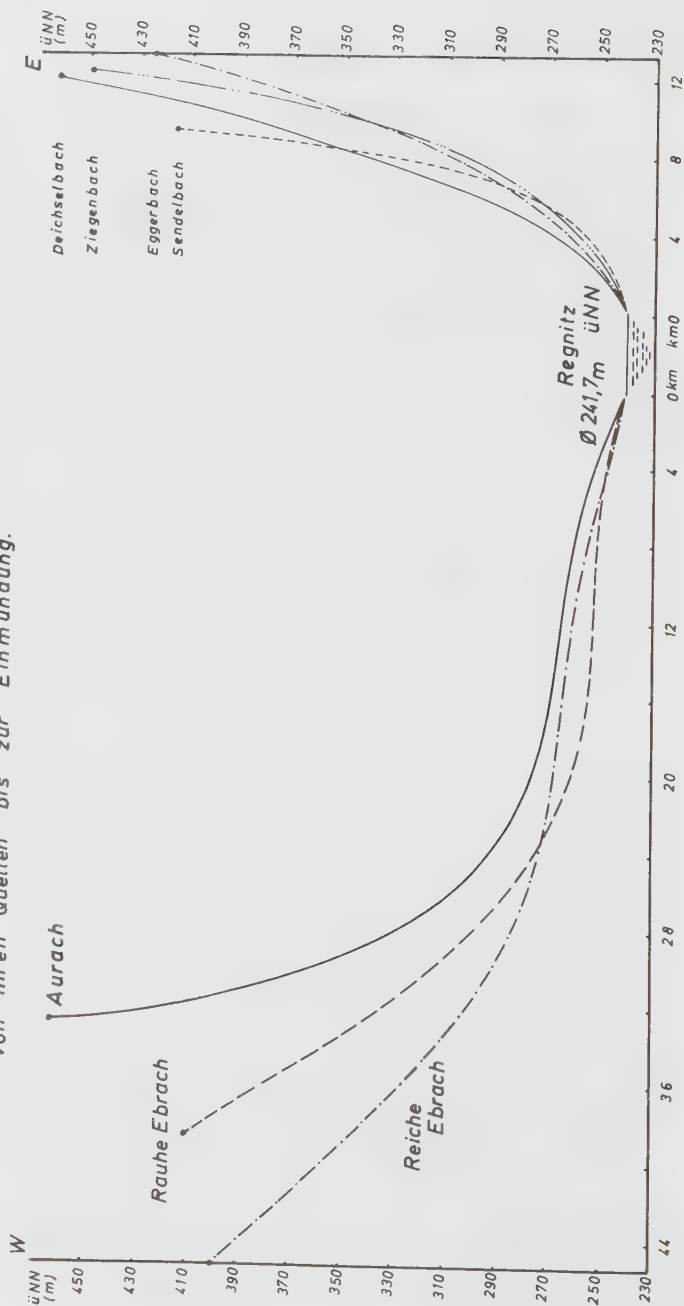
5.3.2. Einzugsgebiete der Regnitzzuflüsse

Im nördlichen Abschnitt des Regnitztales liegt das dichteste Netz der Regnitzzuflüsse und ihrer Nebenbäche. Zwischen Eggolsheim im Südosten und Bischberg im Nordwesten des Tales fließen allein sieben zu untersuchende Flüsse und Bäche, von denen die drei größeren (Aurach, Reiche und Rauhe Ebrach) im West- und die vier kleineren im Ostteil liegen (Sendelbach, Ziegenbach, Deichselbach, Eggerbach). Aus Gründen graphischer Übersichtlichkeit werden den Bächen im Ostteil, deren Oberläufe zum Teil andere Namen tragen als die Unterläufe, in dieser Arbeit stets die Bezeichnung gegeben, die für den längeren Abschnitt gebräuchlich ist. Das gilt z.B. für den Ziegenbach, dessen Unterlauf als Strullendorfer Bach bezeichnet wird, sowie für den Eggerbach, bei dessen Benennung, wie in neuerer Literatur üblich, auf den Namen Eckerbach verzichtet wurde.

Aufgrund der Aufgabenstellen "Hydrogeologie im Regnitztal" wurde den Flüssen im Westteil des Gebietes erst an den Stellen Wasserproben entnommen, wo sie ins Arbeitsgebiet eintreten. Die im Ostteil fließenden Bäche dagegen wurden in ihrem gesamten Verlauf auf ihren Chemismus untersucht (Vgl. Abb. 14, 15, 16). Die wichtigsten hydrographischen Daten der Flüsse sind aus Abb. 17 zu ersehen. Daß die im Ostteil gelegenen Bäche einen kürzeren Verlauf haben als die im Westteil, zeigt Abb. 18. Da aber die (Haupt-) Quellen aller Wasserläufe gleich Höhenlage besitzen und alle Flüsse dieselbe Höhe von 200 m zu überwinden haben, herrscht in den östlichen Bächen, bedingt durch ihre kürzere Entfernung, allgemein eine wesentlich höhere Fließgeschwindigkeit als im Westteil, wo den Flüssen für die Überwindung dieses Höhenunterschiedes eine wesentlich längere Strecke zur Verfügung steht. Bei ihrem Ein-

Abb. 18

NATÜRLICHER VERLAUF der östlichen und westlichen Regnitz-Zuflüsse
von ihren Quellen bis zur Einmündung.



tritt ins Arbeitsgebiet, etwa 15 bis 20 km von ihren Quellen entfernt, weisen die Flüsse des Westteils bereits eine recht mäßige Geschwindigkeit auf. Sämtliche Entnahmestellen, die für diese Arbeit aus- gesucht wurden, liegen im Einzugsbereich eines der oben genannten sieben Flüsse. Es handelt sich um Quellen und Brunnen oder auch kleine Nebenbäche, die später in einen dieser Wasserläufe münden. Einmündungs- ort, Art der einzelnen Wasserproben und übrige Charak- teristika sind in Abb. 19 dargelegt. Diese Einteilung dient im großen und ganzen als Grundlage für die Be- handlung aller hydrologischen Verhältnisse im Unter- suchungsgebiet.

Bei der folgenden Übersicht über die Einzugsge- biete der vier Bäche im Ost- und der drei Flüsse im Westteil stütze ich mich auf den Bayerischen Fluß- gebiet-Atlas, Maßstab 1:200 000. Die Angaben wurden zweckmäßigerweise verkürzt.

a) Ostteil

1. Sendel-
bach:

(Nicht zu verwechseln mit Sendel-
Bach, Meßstation 57 im Hauptmoors-
wald)

Von den Quellen bei Wendelingraben
(56) bis 1,4 km nördlich von Bug-
hof. Gesamtes Einzugsgebiet 14,63 km²

2. Ziegen-
bach:

(Strullendorfer Bach)

Von den Quellen bis zur Weg-
brücke in Mistendorf (53) 7,12 km²

Von der Brücke bis zur Kanal-
brücke 1 km westlich von
Strullendorf (59) 20,85 km²
Gesamtes Einzugsgebiet 27,97 km²

3. Deichsel- bach:	Von den Quellen bis zur Straßenbrücke in Gunzendorf	14,72 km ²
	Von dieser Brücke bis zu den Bahndurchlässen bei Altendorf	11,95 km ²
	Gebiet des Deichselbaches	26,67 km ²
	Lindles-Graben	3,63 km ²
	Gesamtes Untersuchungsgebiet bis zur Meßstation 49 ca. 800 m westlich von Altendorf	30,30 km ²
4. Egger- bach:	(Ecker-Bach, Eggolsheimer Mühl- bach, Stürmig-Bach)	
	Von den Quellen bis zu den Di- striktstraßenbrücken in Drügen- dorf	9,54 km ²
	Von diesen Brücken bis zur Ein- mündung bei Neuses (31)	17,85 km ²
	Gesamtgebiet des Eggerbaches	37,39 km ²
b) Westteil		
5. Aurach:	Von den Quellen bis zur Weg- brücke in Neuschleichach	4,58 km ²
	Von Neuschleichach bis zur Wegbrücke in Stegaurach (Eintritt ins Arbeitsgebiet)	82,03 km ²
	Von Stegaurach bis zur Staats- straßenbrücke bei Debring (36)	6,54 km ²
	Von Debring bis zur Distrikt- straßenbrücke in Waizendorf (südlich von 34)	7,72 km ²
	Von dieser Stelle bis zur Mündung bei Neuhaus (38)	7,47 km ²
	Gesamtgebiet der Aurach	108,34 km ²

Abb. 19a

Hydrographisches Verzeichnis aller Entnahmestellen für
die wasseranalytischen Untersuchungen

Proben Nr.	Lokalität	Stratigraphie	Art der Proben	Einmündung in
A u r a c h				
35	Wildensorg	Quartär	Bach	Aurach
36	Debring	Quartär	Fluß	Regnitz
34	Waizendorf	Keuper	Quelle	Aurach
37	Höfen	Quartär	Fluß	Regnitz
38	Neuhaus	Quartär	Fluß	Regnitz
R a u h e E b r a c h				
32	Frensdorf	Quartär	Fluß	Regnitz
33	Untergreuth	Quartär	Bach	Rauhe Ebrach
40	Reundorf	Quartär	Fluß	Regnitz
39	Pettstadt	Quartär	Fluß	Regnitz
R e i c h e E b r a c h				
21	Wingersdorf	Quartär	Fluß	Regnitz
22	Jungenhofen	Keuper	Quelle	Reiche Ebrach
23	Schlüsselau	Quartär	Fluß	Regnitz
24	Röbersdorf	Quartär	Bach	Reiche Ebrach
25	Erlach	Quartär	Fluß	Regnitz
26	Rothensand	Keuper	Quelle	Reiche Ebrach
S e n d e l b a c h				
56	Wendelinggraben	Dogger	Quelle	Regnitz
57	Sendel-Bach	Quartär	Fluß	Regnitz
58	Bughof	Quartär	Fluß	Regnitz
Z i e g e n b a c h				
54	Zeegendorf	Malm	Quelle	Regnitz
53	Mistendorf	Dogger	Quelle	Ziegenbach
52	Wernsdorf	Quartär	Fluß	Regnitz
55	Geisfeld	Lias	Quelle	Ziegenbach
51	Friesen	Dogger	Quelle	Ziegenbach

Abb. 19b (Fortsetzung)

Proben Nr.	Lokalität	Stratigraphie	Art der Proben	Einmündung in
59	Strullendorf	Quartär	Fluß	Regnitz
D e i c h s e l b a c h				
42	Tiefenhöchst	Malm	Brunnen	Deichselb.
43	Frankendorf	Malm	Brunnen	Deichselb.
44	Stackendorf	Malm	Brunnen	Deichselb.
45	Dreuschendorf	Quartär	Fluß	Regnitz
46	Ketschendorf	Dogger	Quelle	Deichselb.
47	Seigendorf	Lias	Quelle	Deichselb.
49	Altendorf	Quartär	Fluß	Regnitz
G r u n d w a s s e r				
48	Hirschaid	Quartär	offenes G.W.	
41	W'Unterstürmig	Quartär	offenes G.W.	
50	Seußling	Quartär	offenes G.W.	

6. Rauhe Ebrach:	Von den Quellen bis zum Steinbach	27,94 km ²
	Vom Steinbach bis zur Mündung in die Mittel-Ebrach	105,44 km ²
	Einzugsgebiet der Rauhen Ebrach bis unmittelbar oberhalb der Mündung in die Mittel-Ebrach	133,38 km ²
	Einzugsgebiet der Mittel-Ebrach von den Quellen bis zur Abzweigung des Burg-ebracher Mühl-Baches 1 km östlich von Vollmannsdorf	123,81 km ²
	Gesamtes Einzugsgebiet	322,20 km ²

7. Reiche Ebrach:	Von den Quellen bis zur Ebrach	14,74 km ²
	Gebiet Ebrach	21,08 km ²
	Von der Ebrach bis zur Abzweigung des Bewässerungsgrabens in Wingersdorf (21)	256,63 km ²
	Von dieser Stelle bis zur Wegbrücke bei Schlüsselau (Meßstation 23)	268,76 km ²
	Gebiet der Reichen Ebrach	298,80 km ²

Gesamtes Einzugsgebiet aller Bäche im Ostteil	109,95 km ²
Gesamtes Einzugsgebiet aller Flüsse im Westteil	728,84 km ²
Summe aller Einzugsgebiete der sieben Regnitzzuflüsse zwischen Neuses und Bughof	838,79 km ²
Gesamtgebiet der Regnitz	7535,55 km ²

5.4. Probenahme des offenen Grundwassers

Die Entnahme der Proben aus den drei im Arbeitsgebiet anzutreffenden offenen Grundwasserstellen bildet kein besonders schwieriges Problem. Das fast stehende Grundwasser zeigt in den obersten 10 bis 30 cm eine Schichtung, die eine weitgehende Übereinstimmung ihrer physikalischen Eigenschaften mit der Umwelt aufweist. Selten tritt ein Temperaturunterschied von mehr als 2 bis 3°C zwischen dieser Schichtung und der Lufttemperatur auf. Der Versuch, den Sauerstoffgehalt des Wassers in verschiedener Tiefe zu ermitteln, wurde wegen Ausrüstungsmangels aufgegeben. Es wurde nur aus einer Tiefe von 30 bis 45 cm Proben entnommen. Bei einer einmaligen Analyse an der Meßstation Unterstürmig (41) wurde ein Rückgang des Sauerstoffgehaltes von 1,30 ppm in 160 cm Tiefe festgestellt. Dieser Rückgang ist dadurch zu erklären, daß im Gegensatz zu den oberflächennahen Wasserschichten in größerer Tiefe keine Wasserpflanzen mehr vorkommen, die bei Licht Sauerstoff an das Wasser abgeben könnten. Durch heftigen Wind wird die obere Schichtung des Wassers stark mit durch Wellen hervorgerufenen Luftblasen vermischt, im Gegensatz zu den unteren Schichten, die wegen des geringeren Einflusses von Luft und Pflanzen einen geringeren Sauerstoffgehalt aufweisen. Auch durch Regen oder Schnee ändern sich sehr rasch Sauerstoffgehalt und Temperatur des Wassers. Während des Abbaus in den Sandgruben, soweit er mittels einer Saugmaschine unterhalb des Grundwasserspiegels vorgenommen wird, entsteht eine starke Vermischung des Wassers mit Luftblasen, ganz abgesehen von dem hohen Grad an Verschmutzungsstoffen wie Öl oder Fett, die direkt durch die Maschine ins Wasser gelangen (Sandgrube bei Seußling, 50).

Die im vorliegenden Gebiet zu untersuchenden drei

offenen Grundwässer liegen alle im südlichen Bereich, im Quartär. Während die Sandgruben bei Hirschaid (48) und Unterstürmig (41) ziemlich weit östlich der Regnitz zu finden sind, ist der Standort der Sandgrube bei Seußling direkt zwischen dem Main-Donau-Kanal und der Regnitz zu suchen. Aus diesem Grund weist das dortige Grundwasser, wie später zu sehen sein wird, einen höheren Verschmutzungsgrad als die beiden anderen auf.

6. Physikalische, elektrochemische und
physikalisch-chemische Bestimmungen
an der Entnahmestelle

6.1. Visuelle Bestimmungen

Zu den Bestimmungen, die am Ort der Probenahme auszuführen sind, gehören als untrennbarer Bestandteil der Probenahme die gleichzeitigen Temperaturmessungen der Luft und des Wassers. Die Lufttemperatur wurde mit einem normalen Thermometer jeweils an der einzelnen Probeentnahmestelle, die Wassertemperatur dagegen mit einem amtlich geeichten Quecksilberthermometer mit einer $0,1^{\circ}\text{C}$ Teilung in einer Tiefe von 30 cm gemessen. In der gesamten Versuchsdauer von Oktober 1974 bis September 1975 wurden keine Temperaturen unter Null Grad in 30 cm Tiefe festgestellt (vgl. auch Kapitel 12.3.).

Über die Trübung der Wasserproben wurden nur relative Angaben gemacht. Die im Ostteil gelegenen Bäche sind im allgemeinen als farblos bis leicht trüb, nur im Unterlauf als grau-grün zu bezeichnen. In den Oberflächenwässern des Westteils sind vor allem Schlammteilchen, organische Kolloide, Bakterien, Moos oder sonstige Pflanzen und zum geringen Teil Eisenverbindungen (-hydroxide) als Trübungsursachen zu nennen. Die Farbe der Gewässer variiert zwischen klar bei den

Quellen und grau-grün bis gelblich-grün bei den Flüssen. Die starke Trübung führt zu einer Färbung der Probe und folglich zu einer Störung während der Analyse. Solche trübe, zum Teil verfärbte Proben wie z.B. von den Meßstationen Debring (36), Untergreuth (33), Wildensorg (35) und Röbersdorf (24) wurden je nach der Färbung ein-bis viermal filtriert und erst nach Erhalt einer klaren, durchsichtigen Farbe analysiert. Weiterhin nötige Bestimmungen sind Geruchs- und Geschmacksproben. Die Geruchsprüfung wurde vor der Geschmacksprüfung vorgenommen, wobei an zwei Meßstationen (Untergreuth, 33, und Wildensorg, 35) aufgrund der Infektions- und Vergiftungsgefahr nur eine Geruchsprüfung durchgeführt wurde. Die östlichen Bäche weisen einen süßlich bis bitter-salzigen Geschmack und einen normal bis muffigen Geruch an ihren Einmündungsstellen auf. Die im westlichen Abschnitt fließenden Gewässer dagegen zeigen einen süßlichen bis erdig-muffigen Geschmack und muffigen bis fauligen Geruch. Bei den Meßstationen Untergreuth (33) und Wildensorg (35) sind die Wasserproben grau bis schwärzlich gefärbt und haben einen faulig bis fischartigen Geruch.

6.2. Instrumentelle Bestimmungen.

6.2.1. pH-Wert

Unter den Bestimmungen, die durch Meßgeräte direkt an der Entnahmestelle, bzw. innerhalb von höchstens sechs Stunden ausgeführt werden sollen, hat die Bestimmung des pH-Wertes eine große Bedeutung. Die Messungen erfolgen auf elektro-chemischem Weg und beruhen auf der Messung der Wasserstoffionen, die in der Lösung frei vorhanden sind. In reinem neutralem Wasser, das äquivalente Mengen an Wasserstoffionen (H^+) und Hydroxidionen (OH^-) enthält, entspricht die Wasserstoffionen- (= Hydroxidionen) Konzentration einem

pH-Wert (= pOH-Wert) von 7 (d.h. $\log 10^{-7} = 7$). Für die pH-Messungen wurde im Gelände ein tragbares Gerät der Firma WTW benutzt.

6.2.2. Messung des Sauerstoffgehaltes

Die Messung des Sauerstoffgehaltes erfordert eine höchst präzise Arbeitsweise und Schnelligkeit. Chemische Analysen in der klassischen Weise durch Titration liefern nicht die gewünschte Genauigkeit, zumal zwischen Entnahme und Titrieren oft einige unvermeidliche Stunden vergehen, die mit Sicherheit zur Verfälschung der Analyse führen. Zur Messung des Sauerstoffgehaltes wurde deshalb ein elektro-chemisches automatisches Sauerstoffgerät verwendet. Das Meßgerät selbst verbraucht an seiner Kathode einen geringen Teil des Sauerstoffs und zeigt dadurch einen insgesamt etwas niedrigen Wert für den Sauerstoffgehalt des Wassers. Diese Verfälschung kann man verhindern, indem man die Meßelektrode in den stehenden Gewässern stark hin- und herbewegt, bzw. bei fließendem Wasser mehrmals 25 cm unterhalb der Wasseroberfläche in der Strömungslinie für mindestens 20 Sekunden hält.

Die Sättigungskonzentration des Sauerstoffs in einem Liter destilliertem Wasser bei einer Atmosphäre von 760 Torr beträgt (nach ELMORE/HAYES 1960) bei 0°C ca. 14,65, bei 5°C ca. 12,79, bei 10°C ca. 11,27, bei 20°C ca. 9,02 und bei 30°C nur 7,44 ppm. Eine genauere Betrachtung der Abhängigkeit der Sauerstoffänderung von der Temperatur wird in Kapitel 9 ausführlich behandelt.

6.2.3. Messung der elektrischen Leitfähigkeit (LF)

Ein ausgezeichnetes Merkmal für die Reinheit des

Wassers liefert die Feststellung der elektrischen Leitfähigkeit (LF), die mit zunehmender Reinheit abnimmt. Die elektrische Leitfähigkeit des reinsten Wassers beträgt bei 18°C nur $0,0384 \cdot 10^{-6}$ reziproker Ohm/cm (= Siemens/cm). Wasser ist praktisch ein hoch aggressiver Stoff, der außer Metallen auch Mineralien wie Quarz auflösen kann. Es enthält stets, wenn auch nur in geringem Maß, verdünnte Lösungen von Halogeniden, Sulfaten und Karbonaten verschiedener Alkali- und Erdalkalimetalle, so daß in der Hauptsache als Kationen Ca^{2+} , Mg^{2+} und in geringem Ausmaß auch Na^{+} , als Anionen Cl^{-} , SO_4^{2-} und HCO_3^{-} auftreten können. Die übrigen chemischen Komponenten im Wasser, wie z.B. Eisen, Kalium, Mangan, Nickel, Kupfer, Ammoniak, Kohlensäure (CO_2) in Gasform, Kieselsäure, Phosphate, Nitrate, usw. sind mengenmäßig nicht so bedeutend. Alle diese Komponenten beeinflussen aber die elektrische Leitfähigkeit: deshalb wurde die LF stets bei allen Proben im Gelände mit einem tragbaren Gerät geprüft.

7. Methodik chemischer Analysen im Laboratorium

7.1. Halbquantitative Analysen

Die vorliegenden halbquantitativen Analysen von Eisen, Nitrit, Phosphat und Silikat erfolgten alle mittels vorgefertigter Reagenzien der Firma E. MERCK, Darmstadt. Für die einzelnen Bestimmungen sind speziell geeichte Reaktionsgefäße vorhanden, die nach mehrmaligem Spülen mit 10 ml zu untersuchendem Wasser gefüllt werden. Nach dem Zugabe von einem bis drei Tropfen vorgefertigter Titrierlösungen in vorgeschriebenen Zeitabschnitten und vorgeschriebener Reihenfolge werden die auftretenden Farbänderungen mit einer für jede Analyse vorgegebenen Farbskala verglichen und abgelesen (wobei die auftretende Färbung i.a. mit Zu-

nahme der Menge des zu untersuchenden Stoffes dunkler wird). Die zu messenden Gehalte an Kieselsäure (SiO_2) kommen durchschnittlich mit etwa 6,0 ppm, Phosphat (PO_4^{3-}) mit 1,0 ppm, Nitrit (NO_2^{1-}) mit 0,3 ppm und Gesamteisen ($\text{Fe}^{2/3+}$) nur mit 0,1 ppm in einem Liter Wasser vor. Daher ist von vornherein mit größter Sauberkeit zu arbeiten. Besonders unumgänglich für die Bestimmung der Nitrit- und Eisengehalte ist eine exakte Reinigung und Präparierung der Glasgefäße, da diese Elemente fast nur in Spuren bzw. in sehr geringen Mengen im Wasser gelöst vorkommen. Deshalb muß auch darauf geachtet werden, daß die zur Untersuchung verwendeten Chemikalien besonders rein und nicht zu alt sind.

7.2. Quantitative Vollanalysen

7.2.1. Kationen

7.2.1.1. Calcium-Bestimmungen

Bedingt durch den geologischen Aufbau des Untersuchungsgebietes findet sich Calcium in allen Formationen, und zwar in Form von Verbindungen mit Sulfat als Gips oder Anhydrid (z.B. in Keuper und Oberem Dogger-Alpha), Phosphat (z.B. im Lias), Karbonat oder Dolomit (z.B. im Malm) und vielen anderen schwer- bis unlöslichen Verbindungen. Alle Oberflächen-, Grund- oder Quellwässer enthalten Calcium in hohem Prozentsatz. Maßanalytisch wurden Ca-Ionen im Labor durch Titration mit Hilfe der Dinatriumhydrogenäthylendiamintetraacetat (im Handel als Komplexon III, Titriplex III oder Ädta, $\text{Na}_2\text{H}_2\text{Y}$ bezeichnet) bestimmt. Die Calciumionen bilden in einer 50°C warmen Lösung mit dem Anion des Indikators Murexid nach der Gleichung $\text{Ca}^{2+} + \text{I}^- = \text{CaI}^+$ einen roten Komplex. Nach Zugabe von Titriplex III färben die roten CaI-Ionen nach der Formel: $\text{CaI}^+ + \text{H}_2\text{Y}^{2-} = \text{CaY}^{2-} + 2\text{H}^+ + \text{I}^-$ blau-violett,

wobei der Farbumschlag das Ende der Titration signalisiert. Damit der Farbumschlag schneller und deutlicher zum Vorschein kommt, kann die Probe mit 200 bis 300 ml destilliertem Wasser verdünnt werden.

7.2.1.2. Magnesium-Bestimmung

Für die Bestimmung des Magnesiumgehaltes wird zuerst die Summe der Ca- und Mg-Ionen zusammen quantitativ bestimmt und davon der Calciumgehalt abgezogen. Für die Bestimmung der Calcium- und Magnesiumgehaltes werden 100 ml Wasserprobe auf 42°C erwärmt, dann zwei bis drei Tropfen Eriochromschwarz T (Handelsbezeichnung: Erio T) als Indikator zugegeben. Die Magnesium-Ionen bilden mit dem Anion des Indikators bei einem pH-Wert von 10 nach der Gleichung $\text{HI}^{2-} + \text{Mg}^{2+} = \text{MgI}^- + \text{H}^+$ einen weinrot gefärbten Komplex (MgI^-). Nach Zugabe von Titriplex III-Lösung (ÄDTA) geht, durch das freie Indikatorion HI^{2-} verursacht, die Lösung in eine blaue Farbe über, wodurch das Ende der Titration nach folgendem Schema gekennzeichnet ist: $\text{MgI}^- + \text{H}_2\text{Y}^{2-} = \text{MgY}^{2-} + \text{HI}^{2-} + \text{H}^+$. Ein ml verbrauchte ÄDTA-Lösung entspricht bei 100 ml Untersuchungswasser 2,432 ppm Mg^{2+} pro Liter. Gestört wird die Reaktion auch durch eine hohe Konzentration organischer Stoffe, wobei die Probe durch Auflösen in Salzsäure und anschließendes Neutralisieren durch äquivalente Mengen von NaOH vorzubehandeln ist, eine Methode, die besonders für Mg-Bestimmungen in Trink-, Brauch- und Oberflächenwasser geeignet, dagegen in stark verschmutzten Abwässern oder Flußwässern nicht unmittelbar anwendbar ist.

7.2.2. Anionen

7.2.2.1. Chlorid-Bestimmung

Die älteste und zugleich praktischste Methode zum Nachweis von Chlorid besteht darin, die vorhandenen Chloridionen in neutral bis schwach alkalischer Lösung mit Silbernitrat nach der Gleichung $\text{Cl}^- + \text{Ag}^+ = \text{AgCl}$ zum Niederschlag zu bringen. Zu diesem Zweck werden in einem Erlenmeyerkolben 100 ml filtrierter Wasserprobe mit 1 ml 10%-iger Kaliumchromatlösung (K_2CrO_4) versetzt. Mit 1/35,5 N Silbernitratlösung wird bis zu einer eben erkennbaren gelblich-braunen Färbung titriert. Die Indikatorreaktion lautet: $2\text{Ag}^+ + \text{CrO}_4^{2-} (\text{gelb}) = \text{Ag}_2\text{CrO}_4 (\text{gelbbraun})$. Zur Orientierung und zum qualitativen Nachweis kann bereits im Gelände ein Blindversuch durchgeführt werden, wozu 5 ml Wasserprobe mit 1 ml verdünnter Salpetersäure HNO_3 versetzt und nach Zugabe von nur 1 ml 0,1 N Silbernitratlösung stark umgeschüttelt werden. Bei einem Chloridgehalt bis zu 10 ppm tritt eine opaleszenzfarbige, bis zu 30 ppm eine schwache aber durchsichtige und bis zu 150 ppm pro Liter eine stark milchige Trübung auf, die sich in Ammoniak auflöst, in konzentrierter Salpetersäure dagegen unlöslich bleibt.

Die Bestimmung kann durch starke Trübung oder auch Vorhandensein von Schwefelverbindungen gestört werden. Bei eisenreichen Gewässern muß das Eisen durch Zugabe von Zinkoxid und nachträgliches Filtrieren beseitigt werden. Chloride sind häufig Bestandteil aller Arten von Gewässern. Bei zu hoher Verschmutzung oder industrieller Verunreinigung steigt auch die Chloridkonzentration des Wassers (vgl. 8.5.). Die Bestimmungsmethode des Chlorids kann auch auf Trink-, Brauch- und Oberflächenwasser bis 150 ppm im Liter ausgedehnt

werden. Allein für den Chloridgehalt in den Abwässern ist sie auch von der Art des Abwassers abhängig.

7.2.2.2. Sulfat-Bestimmung

Die Bestimmung des Sulfatgehaltes ist mit Abstand die schwierigste und zugleich die zeitraubendste aller vorgenommenen Untersuchungen. Ein vollkommen fehlerfreies Meßergebnis kann bei diesem Nachweis nicht erbracht werden.

Das Vorkommen natürlicher Sulfatgehalte im Grund-, Quellen- und Oberflächenwasser ist auf die Tätigkeit von Mikroorganismen oder Auslaugung von Mineralien durch das Wasser zurückzuführen. Auch durch Zufluß von industriellen oder landwirtschaftlichen Abwässern kann der Sulfatgehalt erheblich gesteigert werden. Unter den Abwässern können Eisen-III und organische Stoffe besonders den Sulfatnachweis stören. Eisen wird erst, wenn es über 1 ppm pro Liter vorhanden ist, durch 25%-iges Ammoniak ausgefällt. Die organischen Stoffe werden nach 10- bis 15-minütigem Kochen in Kaliumpermanganat aufgelöst und entfernt, wobei die dadurch zurückbleibende rote Färbung unter anderem durch Alkohol beseitigt werden kann. Die Bestimmung des Sulfatgehaltes ist für jede Art von Gewässer nach der Entfernung der störenden Faktoren durchführbar.

7.2.3. Maßanalytische Bestimmung der Gesamthärte

Die Härtebestimmung der Wasserproben wurde mit der Meßlösung Äthylendiamintetraessigsäure (Komplexon, Handelsbezeichnung: Titriplex A-Lösung) durchgeführt, die sowohl für die weichen als auch für die harten Gewässer geeignet ist. Die Komplexlösung enthält außerdem eine Zinkverbindung, so daß man sie auch bei magnesiumarmen und -freien Wässern anwenden kann.

Die Reaktion beruht auf Erdalkalimetallionen, die durch einen Indikator (Eriochromschwarz T) rot gefärbt werden, durch das Titriplex A aber in eine grüne Farbe übergehen, eine Reaktion, die durch den scharfen Farbumschlag besonders deutlich und leicht anwendbar ist. Die Anionen des Indikators bilden nun mit den Calcium- und Magnesium-Ionen der Lösung bei $\text{pH} = 10$ einen rot gefärbten Komplex, der erst nach Zugabe von Titriplex A über grau in eine grüne Farbe übergeht, die das Ende der Titration andeutet. Es ist auch möglich, die Bestimmung der Gesamthärte in einzelne Bestimmungen, nämlich Calciumhärte und Magnesiumhärte zu trennen. Dabei werden zunächst die Calcium-Ionen gegen Murexid (ähnlich wie bei 7.2.1.1.) und nach der Zerstörung des Indikators die Magnesiumionen gegen Eriochromschwarz T (vgl. 7.2.1.2.) durch Titriplex-III titriert.

Große Gehalte an Metallionen stören dabei die Reaktion, da sie den Indikator unbrauchbar machen. Hohe Konzentrationen der störenden organischen Stoffe werden auch bei dieser Analyse durch Auflösung des Glührückstandes der Probe mit Salzsäure und anschließende Neutralisierung mit Natronlauge beseitigt.

Die dargestellte Methode ist zur Bestimmung des Härtegrades von Trink-, Grund- und Oberflächenwasser geeignet, allerdings sollten Gewässer mit einer Härte über 28 dH° vorher durch 50 ml destilliertes Wasser verdünnt werden und am Ende die ermittelte Härte mit zwei multipliziert werden.

7.2.4. Bestimmung der Karbonathärte (KH)

Zu den wichtigsten hydrologischen Analysen ist die Bestimmung der Karbonathärte des Wassers zu rechnen,

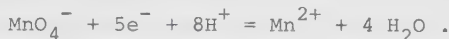
aus der sich unter bestimmten Voraussetzungen im stöchiometrischen Verhältnis viele andere Parameter, wie gebundene CO_2 , CO_3^{2-} und HCO_3^- -Konzentrationen durch geeignete Umrechnungsfaktoren ableiten lassen. Der eigentliche Ausgangswert, der sogenannte m-Wert, wurde durch Titrieren von 100 ml farbloser Wasserprobe mit 2 bis 3 Tropfen 0,1 %-iger Methylorangelösung versetzt und mit 0,1 N Salzsäure bis zum Farbumschlag von gelb in bräunlichgelb bestimmt.

Außer dem m-Wert kann auch gleich der p-Wert durch diese Titration ermittelt werden, indem man anstatt Methylorangelösung Phenolphthalein als Indikator verwendet, wobei die verbrauchten 0,1 N Salzsäure für 100 ml Wasserprobe nun den p-Wert darstellen. Nicht selten zeigt das Meßergebnis der Karbonathärte eine größere Zahl als die Gesamthärte an. In diesem Fall wird als eigentliche Gesamthärte (GH) nur die jetzt ermittelte Karbonathärte angegeben. In über 90% der Proben liegt dagegen die Gesamthärte höher als die Karbonathärte. Ihre Differenz wird dann als Nicht-karbonathärte (NKH) oder Sulfathärte bezeichnet, die auch in deutschen Härtegraden (dH°) angegeben wird. Alle Angaben über die deutschen Härtegrade sowohl für Karbonat- als auch für die Gesamthärte wurden auf 0,1 dH° abgerundet. Diese Methode ist für die Härtebestimmung von Quellen-, Trink- und allen natürlichen Gewässern geeignet.

7.2.5. Organische Substanzen im Wasser (CSV)

In den Gewässern treten häufig organische Stoffe auf, die selbst Sauerstoff verbrauchen. Der Nachweis des chemischen Sauerstoffverbrauchs erfolgt durch ein Oxidationsmittel, und zwar am besten durch Kaliumpermanganat. Dieser Stoff oxidiert stufenweise. Er kann in sauren, alkalischen, sowie neutralen Medien

auf fast alle organischen Stoffe oxidierend einwirken. Die Bestimmung der Oxidierbarkeit erfolgte bei den vorliegenden Analysen ausschließlich in saurer Lösung, so daß das 7-wertige Mangan auf eine 2-Wertigkeit reduziert wurde:



Nach dem Oxidieren aller in der Probe vorhandenen organischen Stoffe wird der noch in der Lösung befindliche KMnO_4 -Überschuß durch Zugabe von Oxalsäure erfaßt:



Gestört wird die Bestimmung durch einen höheren Gehalt an allen leicht oxidierbaren Stoffen und Chlorid, das aber durch Kochen im alkalischen Medium beseitigt werden kann. Eisen- und Schwermetallverbindungen stören erst bei sehr hohem Anteil, was bei den vorliegenden Proben nicht der Fall war.

Die genannte Methode ist für die Analyse aller Arten von Gewässern anwendbar. Mäßig verunreinigte Abwässer, insbesondere Huminwässer müssen ein bis zwei mal verdünnt werden (50 bzw. 25 ml Wasserprobe auf 100 ml). Für stark verschmutzte Industrie-Abwässer ist dagegen anstatt dieser Analyse nur die Messung des Sauerstoffverbrauchs mit Kaliumchromat zu empfehlen.

7.3. Spradisch vorgenommene Analysen

Parallel zu in regelmäßigen Abständen (wöchentlich) über das ganze Jahr durchgeführten Untersuchungen wurden manche Analysen nur zeitweise bzw. nur einmal ausgeführt. Zu solchen sporadisch vorgenommenen Analysen gehört die Bestimmung des freien Chlor sowie von Hydrazin, die nur alle drei Monate einmal vorgenommen wurde und aus diesem Grund in den Abbildungen 67 bis 105 nicht aufgeführt sind. Durch halbquantitative Analysen wurde im gesamten Untersuchungsjahr in

keiner Probe Hydrazin nachgewiesen. Auch freies Chlor war bis auf eine einzige Ausnahme in keiner Meßprobe feststellbar. Mit nur 0,1 ppm im Januar und 0,3 ppm im Juli 1975 wurde bei der Meßstation Röbersdorf (24) halbquantitativ freies Chlor nachgewiesen. Der Chlorgehalt gerade an dieser Stelle ist mit großer Wahrscheinlichkeit auf das Einleiten der Abwässer durch die nahe gelegenen Aluminium-Werke zurückzuführen, da außerdem an dieser Stelle, wie schon erwähnt, eine plötzliche Veränderung von Temperatur und Sauerstoff zu verzeichnen ist.

In bezug auf Metalle und Schwermetalle wurde nur einmal und zwar im November 1974 eine Serie von photo-metrischen Analysen in allen Meßstationen durchgeführt. In keiner Probe konnte jedoch der Nachweis von Blei, Kupfer, Kobalt, Nickel, Zink, Mangan und Chrom erbracht werden, weshalb diese Analysen nicht weiter verfolgt wurden. Von den Alkalimetallen dagegen wiesen Kalium und Natrium zusammen einen Gehalt von 16 bis 48 ppm auf; ihr Verhältnis zueinander kann in den untersuchten Proben generell mit 1:2 bei Niederterrassen-, 1:4 bei Vorterrassen- und 1:10 bei Lias-Wasser angegeben werden.

8. Chemische und physikalische Entwicklung der fließenden Gewässer im nördlichen Regnitztal.

Der folgenden Darstellung der chemischen und physikalischen Beschaffenheit des Wassers werden in erster Linie die hydrochemischen Daten zu Grunde gelegt, die im Zeitraum von Oktober 1974 bis einschließlich September 1975 ermittelt wurden. Da das Oberflächenwasser aus einer Mischung von Grund-, Brunnen-, Quell- und zum Teil Regenwasser besteht, ist es naturgemäß sehr starken mineralischen Veränderungen unterworfen,

die hier im einzelnen besprochen werden sollen. Die zahlreichen Quellen enthalten, bedingt durch ihre geologische Position, verschiedene gelöste Mineralien wie Salz, Gips, Kalk oder Dolomit, die nach der Einmündung in fließende Gewässer deren Chemismus erheblich beeinflussen können. Auch die chemische Beeinflussung der Gewässer in dicht besiedelten, emhr oder weniger industrialisierten Gebieten durch Abfallstoffe aus dem industriellen, landwirtschaftlichen und kelingewerblichen Bereich sollen, soweit sie mit der Zielsetzung der Untersuchung in Zusammenhang stehen, mitbetrachtet werden, obgleich einigen davon (z.B. industriellen Abwässern) hier keine ausschlaggebende Bedeutung beigemessen werden kann.

8.1. Härtevergleich der Regnitz-Zuflüsse

8.1.1. Allgemeines

Entscheidend für die Verwendung des Wassers als Trink- oder Brauchwasser ist dessen Härte. Unter der Härte des Wassers versteht man den Gehalt des Wassers an Calcium- und Magnesium-Ionen, die als Karbonat- und Nichtkarbonathärte (KH bzw. NKH) bezeichnet werden. Die Messung der Härte geschieht in Graden, die allerdings international verschieden bemessen wird. Ein deutscher Härtegrad (dH°) entspricht 10 mg CaO oder 7,19 MgO gelöst in einem Liter Wasser, was in englischer Messung $1,25^\circ$ bedeuten würde. Ein amerikanischer Härtegrad dagegen entspricht 0,056 und ein französischer 0,56 deutschen Härtegraden. Nach der deutschen Härteskala wird das Wasser folgendermaßen beurteilt:

0 - 4° d	sehr weich
4 - 8° d	weich
8 - 12° d	mittel hart

12 - 18° d	ziemlich hart
18 - 30° d	hart
über 30° d	sehr hart

Die gelösten Karbonat- oder Sulfatsalze müssen auf die entsprechenden Mengen CaO oder MgO umgerechnet werden. Fast jedes Wasser, auf jeden Fall alle Flußwässer enthalten mehr oder weniger große Mengen an Calcium- und Magnesiumsalzen, hauptsächlich Calciumhydrogenkarbonat und Calciumsulfat. Die Karbonathärte (KH) oder vorübergehende Härte ist durch den Gehalt des Wassers an Calciumhydrogenkarbonat und Magnesiumhydrogenkarbonat bedingt. Fließt z.B. Wasser durch Kalkstein, löst es infolge seines Kohlendioxidgehaltes Kalkstein auf:



Die zurückbleibende, auf den Gehalt an Calciumsulfat (in geringem Maß auch Magnesiumsulfat, Magnesiumchlorid und Calciumchlorid) zurückzuführende Härte wird als bleibende Härte, permanente Härte oder allgemein als Nichtkarbonathärte (NKH) bezeichnet, da diese Salze und ihre Löslichkeitsgrade nicht einmal durch Kochen verändert werden. Vorübergehende und bleibende Härte ergeben zusammen die Gesamthärte (GH). Sehr weiches Wasser (1 Härtegrad) weist z.B. die im Buntsandstein gelegene Stadt Gotha auf (H. SCHNEIDER, 1952), dagegen ist das Wasser in dem Muschelkalkgebiet der Stadt Würzburg mit 37 dH° sehr hart. Einen mittleren Härtegrad (15,7) besitzt das Wasser der Stadt München und noch niedrigeren Härtegrad (11,8 bis 12,9) das Leitungswasser der Stadt Erlangen.

8.2.1. Gegenüberstellung der östlichen und westlichen Zuflüsse

Bedingt durch die stratigraphische Herkunft der Hauptquellen und die chemische Beeinflussung durch die Umgebung lassen sich im Untersuchungsgebiet drei Wassergruppen mit drei verschiedenen Härtegraden unterscheiden. Der Keupergruppe im Westteil stehen die Dogger- und Malmgruppen im Ostteil gegenüber (vgl. Abb. 16 und 20, sowie Abb. 19). Eine höhere Gesamthärte (zwischen 20,7 und 23,1) und eine relativ niedrige Karbonathärte charakterisieren die drei Flüsse, die im Keuperland im Westen des Gebietes ihre Hauptquellen haben. Der Karbonatgehalt dieser Flüsse macht im Durchschnitt 57,78% der Gesamthärte aus. Die im Ostteil gelegenen Bäche sind voneinander in bezug auf ihre Härte verschieden. Die drei südlicher gelegenen Bäche, hauptsächlich Malmwässer, weisen die niedrigste Gesamthärte, zugleich aber den höchsten prozentualen Anteil an Karbonathärte auf. Der Ziegenbach erreicht einen 66,1%-igen, der Deichselbach einen 71,5%-igen und der Eggerbach einen 70,7%-igen Karbonathärteanteil auf, der im Vergleich zur Karbonathärte der Keuperwässer einer Durchschnittsdifferenz von über 13% entspricht. Das Doggerwasser des Sendelbaches besitzt dagegen mit nur 35,9% den niedrigsten Karbonathärtegrad des Untersuchungsgebietes. Folgende Tabelle zeigt die Charakteristika der drei Härtegruppen des Gebietes:

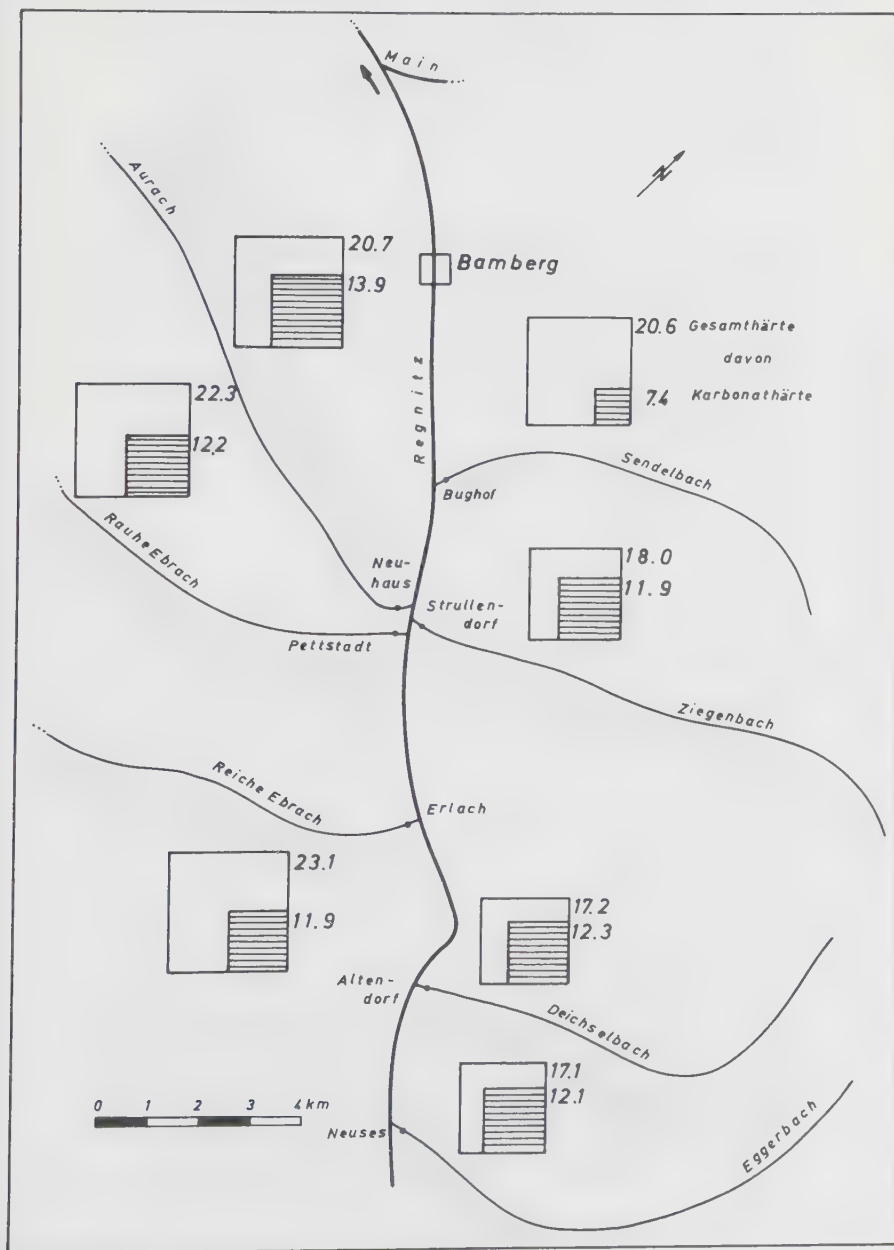
	Fluß Bach	GH dH°	KH in %	KH in dH°	NKH in %	geolog. Position
westlich:	Aurach	20,7	57,14	13,9	32,86	Keuper
	Rauhe Ebrach	22,3	54,70	12,2	45,30	Keuper
	Reiche Ebrach	23,1	41,41	11,9	48,49	Keuper
östlich:	Sendel- bach	20,6	35,92	7,4	64,08	Dogger
	Ziegen- bach	18,0	66,11	11,9	33,89	Malm
	Deich- selbach	17,2	71,51	12,3	28,49	Malm
	Egger- bach	17,1	70,76	12,1	30,24	Malm

Wie aus der Tabelle zu ersehen ist, zeigen nur die relativ harten Malmwässer auch eine niedrige Sulfathärte (NKH), was auf die weniger dolomitisierten Malmgesteine dieses Bereiches zurückzuführen ist. Dagegen ist das Doggerwasser durch seine hohe Nichtkarbonathärte, bzw. seine niedrige Karbonathärte gekennzeichnet, was einzig durch die sandige, aber nicht stark kalkige Struktur der gesamten Dogger-Beta-Gesteine bedingt sein kann. Die Keuperflüsse weisen eine niedrigere Karbonathärte auf als die Malmbäche, was durch die geologische Herkunft ihrer Hauptquellen zu erklären ist.

Besonders interessant ist ein Härtevergleich der drei Flüsse des Westteils. Wie aus Abb. 20 ersichtlich ist, nimmt die Nichtkarbonathärte von Norden nach Süden von rund 33% auf etwa 49% zu. Das bedeutet, daß die Reiche Ebrach, der südlichste der Flüsse, im Vergleich zur Rauhen Ebrach und Aurach, die nördlicher gelegen sind, sulfatreicherer Wasser führt. Diese Tatsache wird besonders einleuchten, wenn man unter Berücksichtigung von Abb. 14 und Abb. 17 feststellt,

Abb. 20

HÄRTEVERGLEICH der Regnitz-Zuflüsse, ermittelt in sieben Meßstationen, jeweils Jahresmittelwert in dH°.



daß die Reiche Ebrach mit ihrer Länge von über 50 km beträchtlich tiefer in das Keuperland, ja sogar bis zum Gipskeuper eindringen kann, als z.B. die Rauhe Ebrach mit 41 km oder die Aurach mit nur 36,1 km Länge.

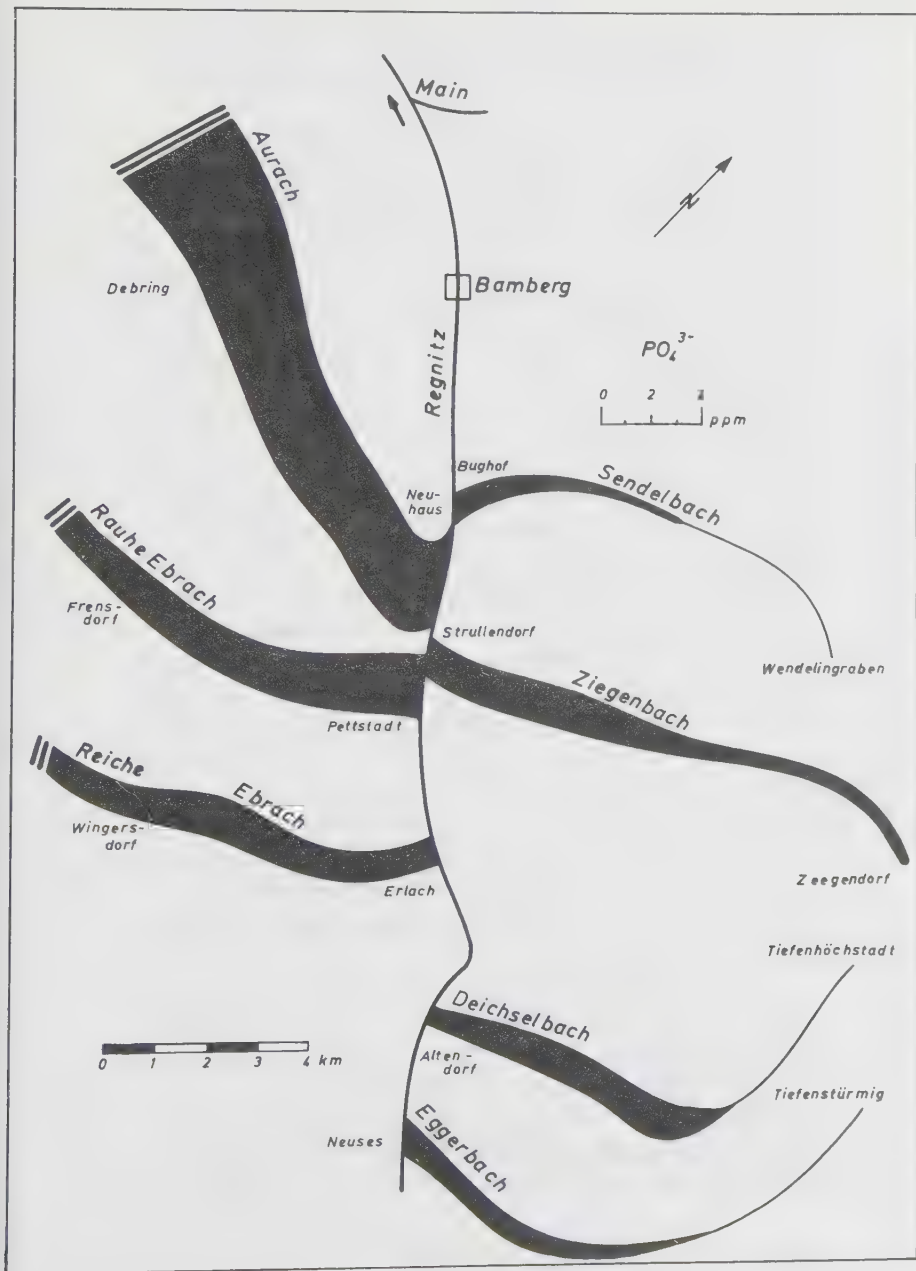
Ein solcher Nord-Süd-Vergleich unter den im Osten gelegenen Malmbächen ist verständlicherweise nicht möglich, da sie alle weniger Wasser führen, alle sehr kurze Strecken zu überwinden haben und außerdem alle eindeutig im Malm ihre Hauptquellen besitzen. Mit einer Länge von 10,4 km ist der Sendelbach rund 3 km kürzer als die drei Malmbäche und wird deshalb hauptsächlich direkt von den Doggerquellen versorgt, was durch seinen Härtevergleich nur bestätigt wird.

8.2. Phosphatgehalt (PO_4^{3-})

Die nachgewiesenen Phosphatverbindungen in den Wasserproben gehen allein auf tierische und pflanzliche Organismen oder auch, besonders in den Oberflächengewässern, auf die oft synthetischen Wasch- oder Düngemittel zurück. In den Brunnen- und Quellwässern kommen im allgemeinen sehr wenig (unter 0,5 ppm) oder gar keine Phosphatverbindungen vor. Die vorhandenen Phosphat-Ionen sind fünf-wertig (Orthophosphate) und kommen nur in Form von PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , H_2PO_4^- und H_3PO_4 mit ihren Verbindungen vor. Der Nachweis dieser Phosphate beruht auf der Tatsache, daß die Orthophosphate in saurem Medium in Gegenwart von Molybdän und Antimon-III eine bläuliche Reaktionslösung liefern, die zu dem zu bestimmenden Phosphat direkt proportional ist. Dieses Verfahren ist generell für alle Trink-, Brauch- und Oberflächenwässer völlig ausreichend und wird sogar für stark verunreinigte Abwässer verwendet. Lediglich starke Konzentration

Abb. 21

PHOSPHAT-IONEN in den Regnitz-Zuflüssen
(Jahresmittelwert)



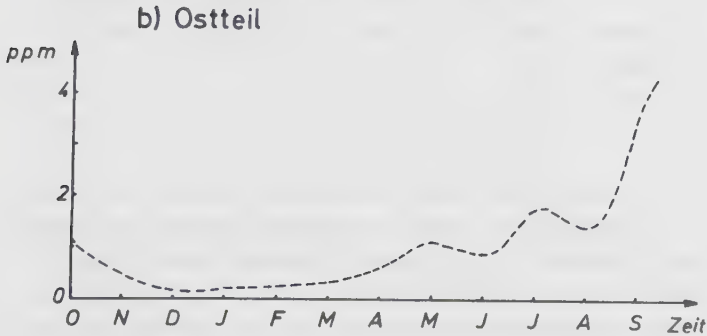
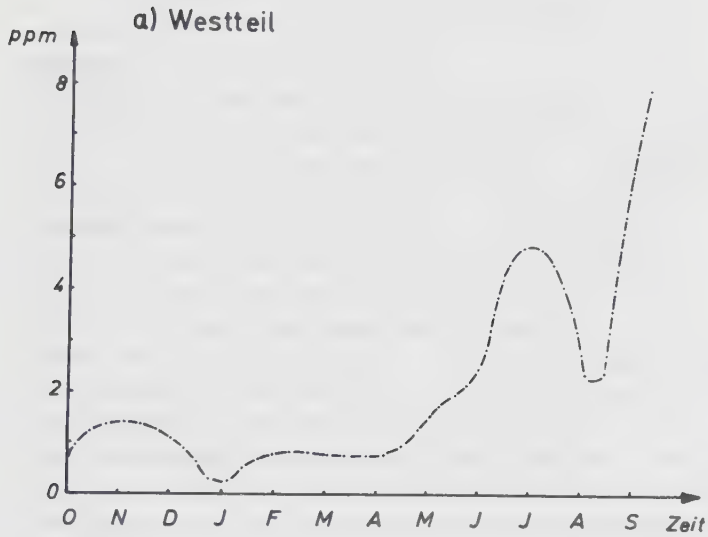
von Eisen- oder Schwefelverbindungen stören die Blaufärbung und folglich die Phosphat-Nachweisreaktion.

In hygienischer Beziehung ist Phosphat neben Ammoniumverbindungen und Nitrit (vgl. Kap. 8.3) ein wichtiger Indikator für den Verunreinigungsgrad des Wassers. Die westlichen Oberflächenwässer des nördlichen Regnitztales zeigen, da sie ein stärker industrialisiertes und bevölkerungsreiches Gebiet durchfließen, eindeutig einen höheren Phosphatgehalt als die im Ostteil verlaufenden Bäche, was aus Abb. 21 deutlich zu entnehmen ist. Die Aurach weist beim Eintritt in das Untersuchungsgebiet (Meßstation Debring, Abb. 15) mit 3,2 ppm den höchsten Gehalt an Phosphatverbindungen aller Analysen auf (vgl. Abb. 21). Während die Rauhe Ebrach in dem Untersuchungsgebiet einen kontinuierlichen Zuwachs an Phosphat von 1,5 ppm (bei Meßstation 32, Frensdorf) auf 2,1 ppm (bei Meßstation 39, Pettstadt) zu verzeichnen hat, bleibt der Phosphatanteil der Reichen Ebrach zwischen Wingersdorf (Meßstation 32) und Erlach (25) mit etwa 1,0 ppm (0,98 bzw. 1,09 ppm) ziemlich konstant. Im mittleren Bereich des Flusses, im Raum Schlüssellau (23) steigt jedoch der Verunreinigungsgrad in bezug auf den Phosphatgehalt bis auf 1,14 ppm leicht an. Unter den Oberflächengewässern des westlichen Abschnitts erreichen also die Aurach in ihrem gesamten Verlauf und die Rauhe Ebrach an der Einmündungsstelle bei Pettstadt einen hohen Phosphatgehalt von über 2 ppm.

Von den vier Bächen des Ostteils dagegen weisen Sendel-, Deichsel- und Eggerbach erst von ihrem mittleren Verlauf an überhaupt einige Zehntel ppm Phosphatverbindungen auf, die dann bis auf rund 1,0 ppm vor ihrer Einmündung erhöht werden. Diese plötzliche Erhöhung ist mit Bestimmtheit durch das teilweise Auswaschen von Kunst- und Naturdüngemitteln durch das Regenwasser

Abb. 22

MONATSDURCHSCHNITT der PHOSPHATKON-
ZENTRATION aller Gewässer des nördlichen Reg-
nitztales in der Zeit von Okt. 74 bis Sept. 1975.



und das Einleiten in die Bäche der dortigen relativ engen Täler zu erklären. In ihrer oberen Hälfte ist von den vier Bächen nur beim Ziegenbach Phosphat nachzuweisen, und zwar ein Gehalt von 0,36 ppm, obwohl als Hauptspender dieses Baches das Quellsystem im Raum um Zeegendorf anzunehmen ist.

Die monatliche Änderung der Phosphatkonzentration in den gesamten Oberflächengewässern dieses Raumes ist, basierend auf den Beobachtungen in der Zeit von Oktober 1974 bis September 1975, in Abb. 22, S. 136 dargestellt. Das erste Maximum in diesem Zeitraum wurde im Laufe der Monate Mai bis Juni festgestellt, wobei die westlichen Flüsse in fast allen Monaten aus den vorher genannten Gründen doppelt so viel Phosphat-Ionen aufweisen wie die östlichen Bäche. In den gesamten Winter- und Herbstmonaten tritt in den Oberflächengewässern ein Phosphatgehalt von weniger als 1,0 ppm auf. Im Monat September dagegen erhöht sich in den Gewässern dieser Anteil von normalerweise 1 bis 3 ppm sogar bis auf 8,0 ppm. Durch den Vergleich der beiden Diagramme a und b in Abb. 22 kommt die gleichzeitige Schwankung der Phosphatkonzentration im Laufe eines Jahres deutlich zum Ausdruck. Diese Veränderung entspricht im großen und ganzen auch der monatlichen Schwankung des Nitritgehaltes in demselben Zeitraum (für eine genauere Darstellung s. Kap. 8.3. sowie Abb. 23 und 66b).

8.3. Nitritgehalt (NO_2^-)

Unter den chemischen Stoffen, die als Verschmutzungsindikatoren im Wasser betrachtet werden, kommt den Nitrit-Ionen eine sehr wichtige, vorwiegend hygienische Bedeutung zu. In natürlichen Gewässern wie Grund-, Quell- und Brunnenwasser finden sich nur

gelegentlich bodenbedingte Nitrite und wenn, dann höchstens spurenweise. Das Vorkommen der Nitrit-Ionen in solchen Wässern, wenn sie überhaupt nachweisbar sind, deutet unmittelbar auf Verunreinigung des Wassers durch irgendwelche Abwässer hin, deren Herkunft sich durch eine eingehende Orts- und Umgebungsbesichtigung sehr bald bestimmen läßt. Nur in Ausnahmefällen ist ein Nitritgehalt von über 1 ppm in häuslichen Abwässern zu erwarten. In stark verschmutzten Industrie- oder Huminwässern können bis zu 2,0 ppm, selten mehr Nitritverbindungen vorkommen. Das Auftreten von Nitrit-Ionen im Wasser ist in den meisten Fällen allein durch Oxidation organischer Substanzen, wie Ammoniumverbindungen oder auch direkt durch Reduktion von Nitrat (NO_3^-) zu erklären.

Bei der Beurteilung des Wassers hinsichtlich seines Verschmutzungsgrades sollten außer Nitrit auch Chlorid-Sulfat, Kaliumpermanganatverbrauch und Phosphat beachtet werden, da für die Güte und Brauchbarkeit eines Wassers nur das Gesamtbild der chemischen Analysen ausschlaggebend ist und nicht die Prozentzahl bzw. die Menge der einzelnen Elemente. Im vorhergehenden Kapitel wurde die Veränderung des Phosphatgehaltes sowohl im Jahresdurchschnitt (Abb. 21) als auch im Monatsdurchschnitt (Abb. 22) veranschaulicht. Unter Berücksichtigung der letztgenannten Abb. und im Vergleich mit Abb. 23, kann man sich eine klare Vorstellung von der Veränderung des Verschmutzungsgrades in bezug auf die Nitrit- und Phosphatgehalte und deren Schwankungen in den einzelnen Untersuchungsmonaten machen. Hierbei wird deutlich, daß sowohl die Flüsse im Westteil als auch die Bäche im Ostteil eine Entwicklung des Nitritgehaltes parallel zum jeweiligen Phosphatgehalt aufweisen. Die einzelnen Maxima oder Minima des Phosphatgehaltes aller Oberflächenwässer des Gebietes verlaufen nicht nur fast immer parallel zueinander, son-

dern der Phosphatanteil der einzelnen Wasserläufe entspricht darüber hinaus generell dem Verlauf der einzelnen Nitrit-Diagramme. Erhöht sich zum Beispiel der Phosphatgehalt im Monat Mai oder Juni um ein Vielfaches des Januarwertes, so steigt auch der Nitritgehalt im selben Zeitraum um dieselbe Höhe an. Allgemein ist also festzustellen, daß Nitrit- und Phosphat-Anteil in jedem der Regnitzzuflüsse parallel verlaufen, was in den zwei Diagrammen (Abb. 22 und 23) veranschaulicht wird. Die Steigerung ist besonders im Monat September zu beobachten, wo die Nitritkonzentration in allen Gewässern ausnahmslos ihre maximale Entwicklung erreicht. In den Monaten Dezember 1974 bis April 1975 dagegen zeigten alle Gewässer den niedrigsten Nitritanteil, was direkt auf das geringe Einleiten chemischer Abfall- und Verunreinigungsstoffe in die Oberflächen-gewässer während dieser Wintermonate zurückzuführen ist.

Im Jahresdurchschnitt betrachtet, weisen die im Westteil des Regnitztales entnommenen Wasserproben beträchtlich mehr Nitritverbindungen auf als die im Ostteil (vgl. Abb. 24). Der höchste Nitritgehalt wurde bei Meßstation Untergreuth (33) mit einem absoluten Betrag von 3,63 ppm gemessen (vgl. Abb. 15). Auch die Meßstation 24, Röbersdorf, wo die Abwässer eines Aluminiumwerkes direkt in die Reiche Ebrach eingeleitet werden, zeigt mit 0,55 ppm Jahresmittelwert einen relativ hohen Nitritanteil an. In der Reichen und der Rauhen Ebrach sind Nitrit-Ionen mit weniger als 0,40 ppm im Jahresdurchschnitt vertreten, wobei die Rauhe Ebrach mit einem Gehalt von 0,24 ppm bei Meßstation Frensdorf und 0,30 ppm an der Meßstelle Pettstadt eine fast gleich hohe Nitritkonzentration aufweist wie die Reiche Ebrach mit 0,20 und 0,36 ppm bei den Meßstellen Wingersdorf und Erlach. Dem relativ hohen Betrag von 0,62 ppm bei der Meßstation Debring

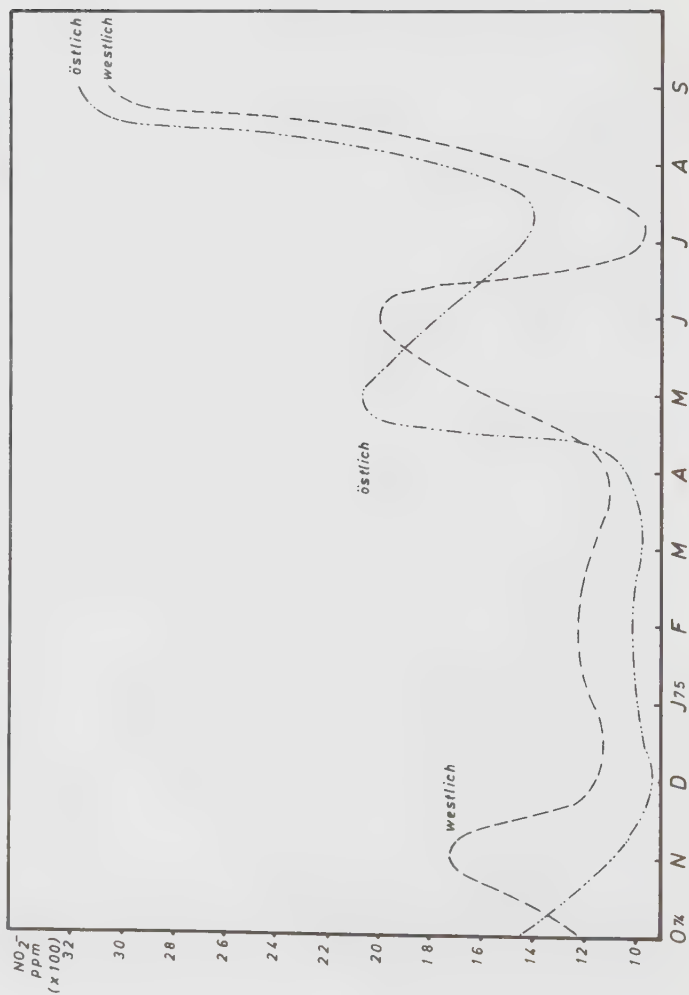
an der Aurach steht ein Nitritgehalt von 0,35 ppm bei der Meßstelle Neuhaus gegenüber, die die Einmündungsstelle des am stärksten chemisch belasteten Flusses im Untersuchungsgebiet darstellt.

Extrem niedrig sind dagegen die Nitritkonzentrationen der im Ostteil des Gebietes gelegenen Bäche, wo z.B. der Sendelbach einen Nitritwert von nur 0,01 und 0,02 ppm (Meßstelle Sendel-Bach und Bughof), und zwar allein im Unterlauf aufbringt. Auch der Ziegenbach zeigt eine Nitritkonzentration von 0,25 und 0,40 ppm nur in seinem Unterlauf zwischen der Meßstation Wernsdorf (52) und der Einmündung bei Strullendorf (59). Von den Brunnen weist im gesamten Gebiet nur ein einziger einen Gehalt von Nitrit-Ionen auf, und zwar wurden bei Meßstation Tiefenhöchstadt (42) 0,07 ppm gemessen. Die beiden Stationen Frankendorf (43) und Stackendorf (44) dagegen lassen trotz des gleichen Wasserspender-Horizontes im ganzen Jahr keine Nitritverbindungen erkennen. Auch in den beiden östlich (27) und westlich (28) von Tiefenhöchstadt gelegenen Hauptquellen des Eggerbaches ist ein Nitritanteil nicht nachweisbar, während in einer Entfernung von nur wenigen Kilometern der Wasserlauf bei Götzendorf bereits 0,04 ppm Nitrit aufweist und mit einem Nitrit-Ionenanteil von 0,09 ppm bei Neuses in die Regnitz mündet.

Unter den Liasquellen im Arbeitsgebiet weist nur die Quelle bei Geisfeld (55) einen Nitritgehalt und zwar von 0,02 ppm auf, dessen Ursache allein auf die oberflächennahe Lage der Quelle zurückzuführen ist.

Die offenen Grundwässer sind im Vergleich zu den anderen Stationen nur mäßig durch Nitrit-Ionen belastet. In dem offenen Grundwasser der Sandgrube westlich von Tiefenstürmig (41) liegt die Nitritkonzentra-

Abb. 23 NO_2 -GEHALT der OBERFLÄCHENGEWÄSSER der östlichen und westlichen Regnitz-Zuflüsse in der Zeit von Okt. 74 bis Sept. 1975.



tion bei 0,15 ppm. In der Kiesgrube bei Seußling, wo die Abwässer einer Baufirma direkt in das Grundwasser eingeleitet werden, liegt der Wert etwas höher bei 0,28 ppm. In dem offenen Grundwasser der Sandgrube südlich von Hirschaid (48) treten das ganze Jahr über keine, bzw. höchstens so geringe Spuren von Nitrit-Ionen auf, daß sie nicht bestimmt werden können (vgl. auch Abb. 94 im Anhang).

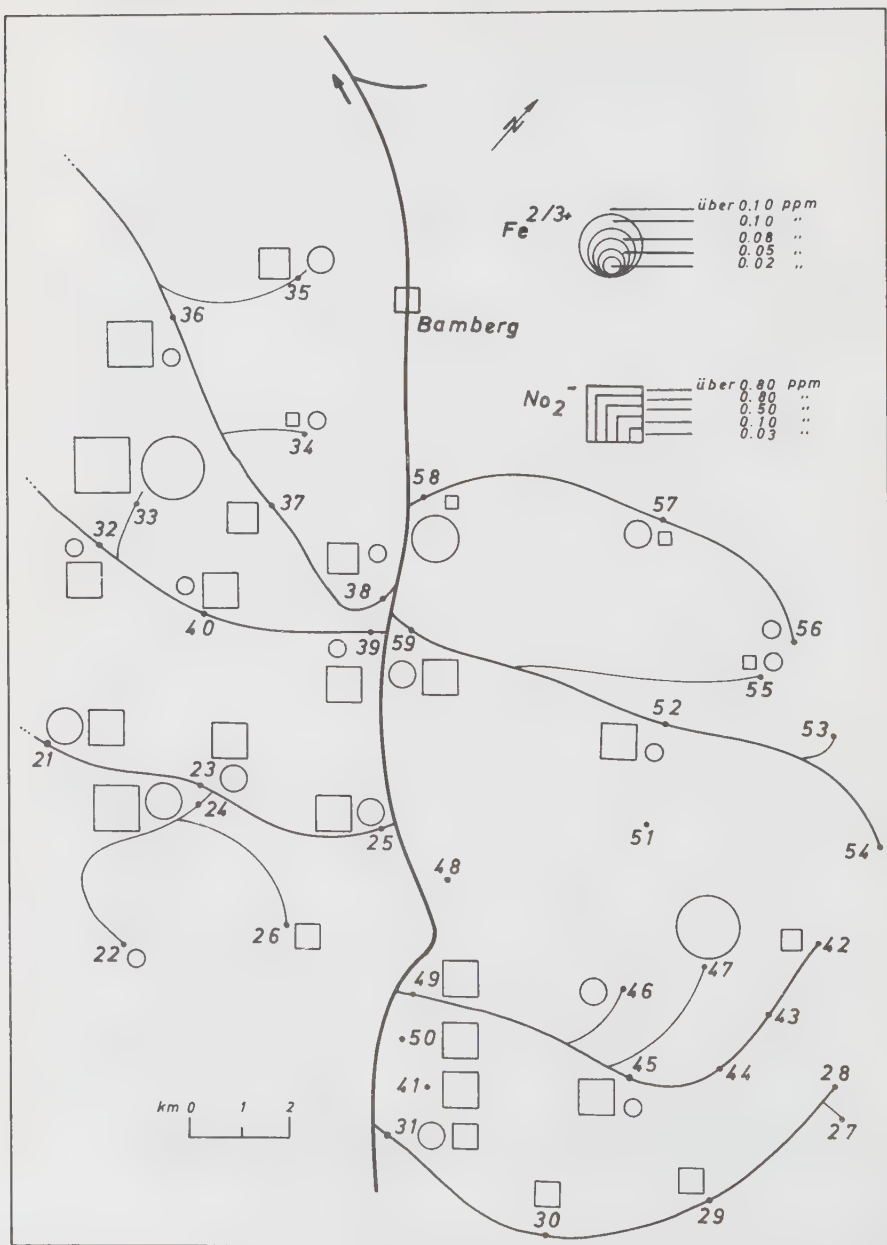
8.4. Eisengehalt ($\text{Fe}^{2/3+}$)

Die Konzentration von Eisen mit seinen zwei- und drei-wertigen Verbindungen, die gewöhnlich als Oxid, Hydrogenkarbonat oder Hydroxid auftreten, ist direkt von dem pH-Wert des Wassers abhängig. Wegen seiner großen Reaktionsfähigkeit oxydiert zwei-wertiges Eisen außerordentlich leicht, sogar schon mit Wasser- oder Luftsauerstoff zu drei-wertigem, weshalb Eisen-II-Verbindungen sehr selten bzw. schwer nachweisbar sind. Es wird deshalb nur die Konzentration aller Eisenformen als Gesamteisen ($\text{Fe}^{2/3+}$) analytisch untersucht und angegeben.

Wie Härte, Chlorid oder Kohlensäure stellen auch die Eisenverbindungen unerfreuliche und störende Bestandteile im Trink- und Brauchwasser dar, die unbedingt entfernt (enteisent) werden müssen. Die Entfernung des Eisens kann bei allen Arten von Gewässern dadurch erfolgen, daß man das eisenhaltige Wasser in offenen oder (aus hygienischen Gründen) geschlossenen gerüstartigen Wasseraufbereitungsanlagen stark mit Luft mischt und so die Eisen-II-Verbindungen infolge der Luftsauerstoff-Oxydation als Eisen-III-Verbindungen (Hydroxide) ausfällt. Besonders einfach und schnell geht die Enteisenung des Wassers bei Gewässern mit einer Karbonathärte von rund 10 dH° und einem pH-Wert von 7,0. Bei harten und schwach sauren Wässern

Abb. 24

Gegenüberstellung des NITRIT- und EISENGEHALTES in den Gewässern des östlichen und westlichen Regnitztales.



(pH = 6,5 bis 6,9) ist allerdings dieses Verfahren wegen des Löslichkeitsvermögens von Eisen im Wasser mit einem pH-Wert kleiner als 7,0 erschwert bis unmöglich. Auch bei Huminwässern, die fast immer eisenhaltig sind (z.B. ersichtlich am Standort 33, Untergreuth), ist die Enteisenung durch Vermischung des Wassers mit Luftsauerstoff nicht mehr möglich, in solchen Fällen muß auf chemische Enteisenungsmethoden zurückgegriffen werden. Im Oberflächenwasser findet sich bis zu 0,50 ppm, im Grundwasser örtlich sogar bis zu einigen ppm Gesamteisen. Der überhöhte Eisengehalt des Grundwassers ist meistens durch den Eisengehalt des durchströmten jeweiligen Grundwasserleiters zu erklären. Im allgemeinen ist bei Eisen jedoch nicht unbedingt ein direkter Zusammenhang mit den geologischen Verhältnissen gegeben. Während z.B. die Keuperquellen von Jüngenhofen (22) oder Waizendorf (34) jeweils im Jahresdurchschnitt 0,02 ppm Eisenverbindungen aufweisen, tritt in der nur wenige Kilometer entfernt liegenden Keuperquelle bei Rothensand (Meßstation 26) kein Eisen auf (vgl. Abb. 24 und 15), obwohl sie demselben Grundwasserleiter entstammen. Unter den Doggerquellen des Ostteils finden sich in Wendelingraben (Meßstation 56) 0,02 ppm und bei Ketschendorf (46) sogar 0,05 ppm Eisen-Ionen. Die Wässer aus den Lias-Quellen weisen eine völlig verschieden hohe Eisenkonzentration auf. Während nämlich die Quelle bei Geisfeld (54) einen niedrigen Gesamteisengehalt von nur 0,01 ppm mißt, kommt in der Quelle bei Meßstelle Seigendorf (47) der höchste Betrag von 0,25 ppm Eisen-II- und -III-Verbindungen unter allen eisenhaltigen Quellen vor, wobei durch weitere Untersuchungen festgestellt wurde, daß ca. 20% des Gesamteisens aus zweiwertigen Verbindungen besteht. Unter den im Ostteil gelegenen Bächen, die einen kontinuierlich steigenden Eisengehalt zeigen, ist

der Sendelbach als einziger zu nennen, dessen Höhe von 0,02 ppm an der Meßstelle Wendelingraben bis auf 0,09 ppm bei der Einmündungsstelle Bughof (58) ansteigt. Die Eisengehalte des Ziegenbaches an der Meßstation Strullendorf (59), des Deichselbaches an der Meßstelle Dreuschendorf (56) und des Eggerbaches bei Neuses (31) wurden mit 0,04, 0,02 und 0,03 ppm im Jahresdurchschnitt gemessen.

Die nur im Ostteil auftretenden Malmquellen oder -brunnen weisen an keinem Standort im gesamten Untersuchungs-jahr Eisenverbindungen auf, wie dies unter Berücksichtigung ihrer geologischen Speicherstätten zu erwarten gewesen war.

In den im westlichen Teil des Regnitztales fließenden Gewässern kommen, wie aus Abb. 24 zu ersehen ist, wesentlich mehr Eisenverbindungen vor. Dies ist nicht allein durch die geologische Beschaffenheit der Keupergesteine bedingt, sondern auch auf die im allgemeinen stärker chemisch verunreinigten Abwässer zurückzuführen, die direkt in diese Flüsse eingeleitet werden. Den geringsten chemischen Belastungen ist die Rauhe Ebrach ausgesetzt, deren Eisengehalt mit 0,02 ppm in ihrem gesamten Verlauf konstant bleibt. Die höchste Eisenkonzentration zeigt allerdings der kleine Nebebach an der Meßstation Untergreuth (33). Mit ihren stinkenden Huminwässern zeigt diese Meßstelle eine Gesamteisenkonzentration von 2,45 ppm, den absoluten Höchstbetrag im gesamten Untersuchungsgebiet. In der relativ mäßig belasteten Reichen Ebrach finden sich an der Eintrittsstelle ins Untersuchungsgebiet bei Wingersdorf (Meßstation 21) 0,07 ppm und kurz vor der Einmündung bei Erlach (25) nur noch 0,04 ppm Eisen-Ionen. Auch die Aurach zeigt mit einem Anteil von 0,01 ppm beim Eintritt in das Untersuchungsgebiet (Meßstelle 36) bei Debring und 0,02 ppm kurz vor der Einmündung (Meßstation 38) bei Neuhaus eine nur

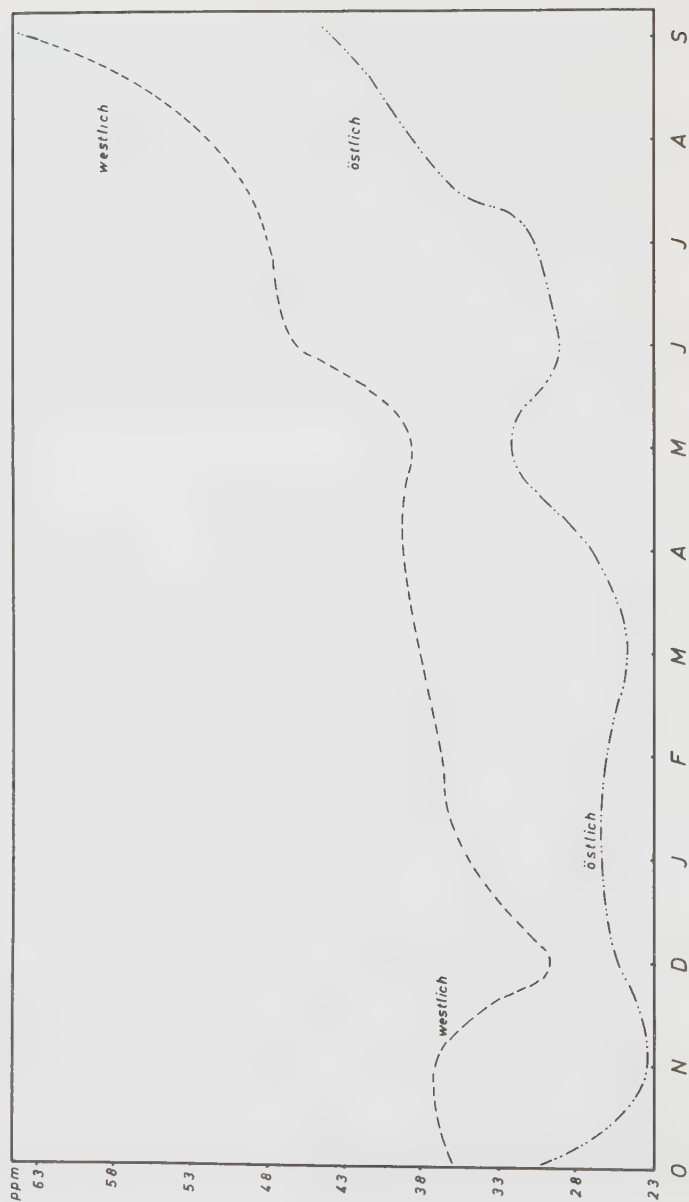
sehr geringe Belastung durch Eisen-Ionen. Bei einem so niedrigen bis mäßigen Gehalt an Eisenverbindungen in allen Gewässern dieser Region ist für die Wasserversorgung der umliegenden Dörfer und kleingewerblichen Betriebe keine größere und kostspielige Aufbereitungsanlage, zumindest für Brauchwasser vonnöten. gegenüber dem relativ höheren Eisengehalt des Westteils treten im östlichen Regnitztal Wässer auf, die wegen ihrer geringeren Eisenkonzentration mit geringem Aufwand sogar für die Trinkwasserversorgung gut genutzt werden können, obwohl sie fördermäßig bei weitem nicht mit den im Westteil fließenden Gewässern Schritt halten können.

8.5. Chloridgehalt (Cl^-)

Die im Untersuchungsgebiet reichlich vorkommenden Chloride müssen in erster Linie als wesentlicher Faktor der chemischen Beschaffenheit des Wassers betrachtet werden, wobei allerdings darauf zu achten ist, daß diese Salze verschiedenen Ursprungs sein können. Einmal können sie neben Phosphaten und Nitriten mit künstlichem Düngemittel auf irgendwelche Weise ins Wasser gelangen, oder geologisch bedingt sein, wie in diesem Gebiet in der weitaus überwiegenden Zahl der Fälle. Im ersten Fall ist der Ausgangspunkt der Chloride nicht schwer festzustellen, da sie nur zeitweise in großen Bereichen ohne jeglichen geologischen Zusammenhang in meist hohen Mengen vorkommen; dagegen lassen sich bei einem genügend dichten Analysennetz (mit maximalen Entfernungen von 10 km) stets Zusammenhänge mit dem geologischen Bau des Untergrundes feststellen. Völlig von Chloridsalzen unbeeinflusste Gewässer zeigen nur einen Gehalt bis zu maximal 20 ppm. Stellt man demgegenüber einen höheren oder sogar sehr hohen Gehalt an Chlorid fest, so befindet man sich im

Abb. 25

Statistischer Monatsdurchschnitt für den Gehalt an CHLORID-IONEN aller fließenden Gewässer des nördlichen Regnitztales in der Zeit von Okt. 74 bis Sept. 75



Verbreitungsgebiet stark salzhaltiger Gesteine, wie in den vorliegenden Analysen im Keuper, oder auch in einem Gebiet, dessen Gewässer meist aus industriellen Gründen verunreinigt wurden. Eine erhöhte und nicht geologisch bedingte Chloridkonzentration ist immer als Maß für die Wasserverschmutzung, verursacht durch industrielle und landwirtschaftliche Abwässer zu werten.

Chloridsalze sind nämlich neben Ammonium-, Nitrit- und Phosphatverbindungen ein besonders charakteristischer Verunreinigungsindikator. Abb. 25 zeigt die Höhe des Chloridgehaltes, wobei aus den in Abb. 22 und 23 gezeigten Diagrammen ersichtlich ist, daß die gleich verlaufenden Maxima und Minima des Phosphat- und Nitritanteils im Laufe des Untersuchungsjahres mit Maximum und Minimum der Chloridkonzentration zusammenfallen. Hieraus ist eindeutig zu schließen, daß die rasche Änderung des Anteils dieser drei für die Verunreinigung der Flüsse typischen Stoffe im Wasser nicht auf geologische Ursachen, sondern allein auf Einflüsse durch landwirtschaftliche und industrielle Abfallstoffe zurückzuführen ist.

In den im Westteil fließenden Gewässern mit ihrem Chloridanstieg im Juni, September und in geringem Maße im November treten eindeutig mehr Salze auf als in den im Ostteil gelegenen Bächen, die ebenfalls ihren maximalen Anteil an Chlorid in den Mai- bis Septembermonaten (ähnlich dem Gehalt an Phosphat und Nitrit) erreichen.

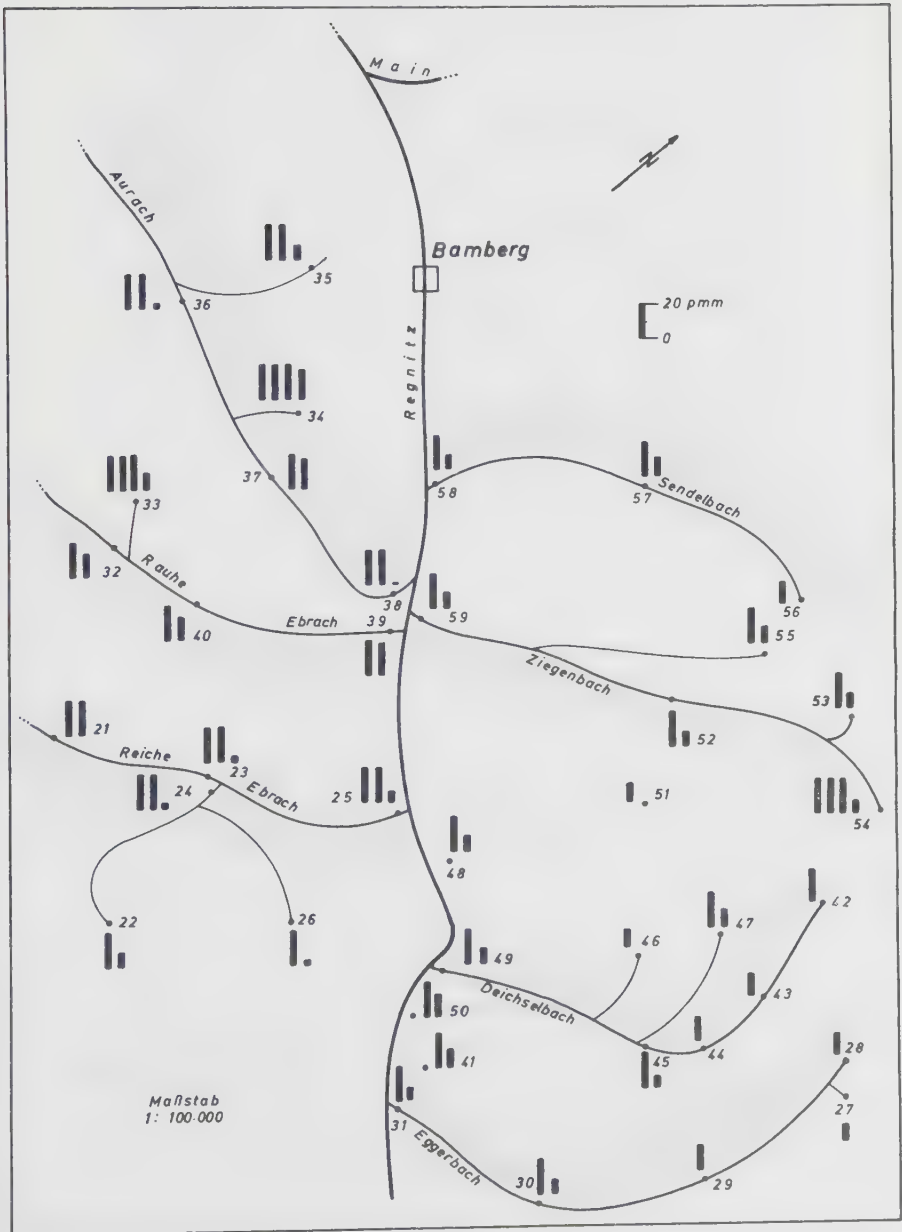
Eine allgemein niedrigere, mehr oder weniger konstante Chloridkonzentration in den Oberflächengewässern ist in den Wintermonaten festzustellen, da ihre Höhe in diesem Zeitraum viel mehr auf den geologischen Aufbau des Gebietes zurückzuführen ist als auf die Verschmutzung durch künstliche Düngung.

Im Jahresdurchschnitt betrachtet ist das geringe

Vorkommen der Chloridsalze in allen Quellwässern mit Ausnahme der Malmquelle bei Zeegendorf (54) auffällig. Mit ihrer relativ sehr hohen Chlorid-Ionenkonzentration von 67,4 ppm und ihrem ebenfalls hohen Phosphatanteil von 0,36 ppm ist die Ursache der Verunreinigung an der Meßstation Zeegendorf mit großer Sicherheit auf den 0,3 km nordöstlich gelegenen ehemaligen Malmsteinbruch zurückzuführen, der nun als Schrott- und Müllablageplatz Verwendung findet. Diese Annahme wird dadurch bekräftigt, daß in allen drei im Süden der Malmquelle gelegenen Brunnen mit denselben geologischen Speicherstätten ein Chloridgehalt von nur 19,4 (Meßstation 42), 14,8 (Meßstelle 43) und 15,1 ppm (Meßstation 44) festzustellen awr. Die nur in einer Entfernung von 5,2 km gelegene Malmquelle (Meßstation 27) zeigt sogar einen Jahresmittelwert von 13,4 ppm. Auch die umliegenden Doggerquellen bei Friesen (51), Tiefenstürmig (28), Ketschendorf (46) und Wendelingraben (56) besitzen einen Chlorid-Ionenanteil von rund 13 bis 17 ppm im Jahresdurchschnitt. Mit einem Chloridwert von 29,7 und 30,0 ppm liegen die Liasquellen bei Seigendorf (47) bzw. Geisfeld (55) etwas höher als die vorgenannten Quellen, da sie, bestätigt durch ihren Phosphat- und Nitritgehalt eine Zeitlang dicht an der Erdoberfläche fließen (was morphologisch leicht festzustellen ist) und daher leicht verschmutzt werden können. Ebenfalls gleich hoch ist der Chloridgehalt des im Ostteil an drei Stellen offenen Grundwassers, der im Jahresdurchschnitt bei 27,7 ppm (Sandgrube bei Hirschaid, 48), 31,1 ppm (Kiesgrube westlich von Unterstürmig, 41) und 34,2 ppm (Sandgrube bei Seußling, 50) liegt.

Die im westlichen Teilgebiet fließenden Gewässer zeigen durchaus eine gleich hohe Chloridkonzentration. Die Reiche Ebrach erhöht ihren Chloridgehalt kontinu-

Abb. 26
Jahresmittelwert der CHLORID-IONENKONZENTRATION in
den Gewässern des östlichen und des westlichen Regnitztales



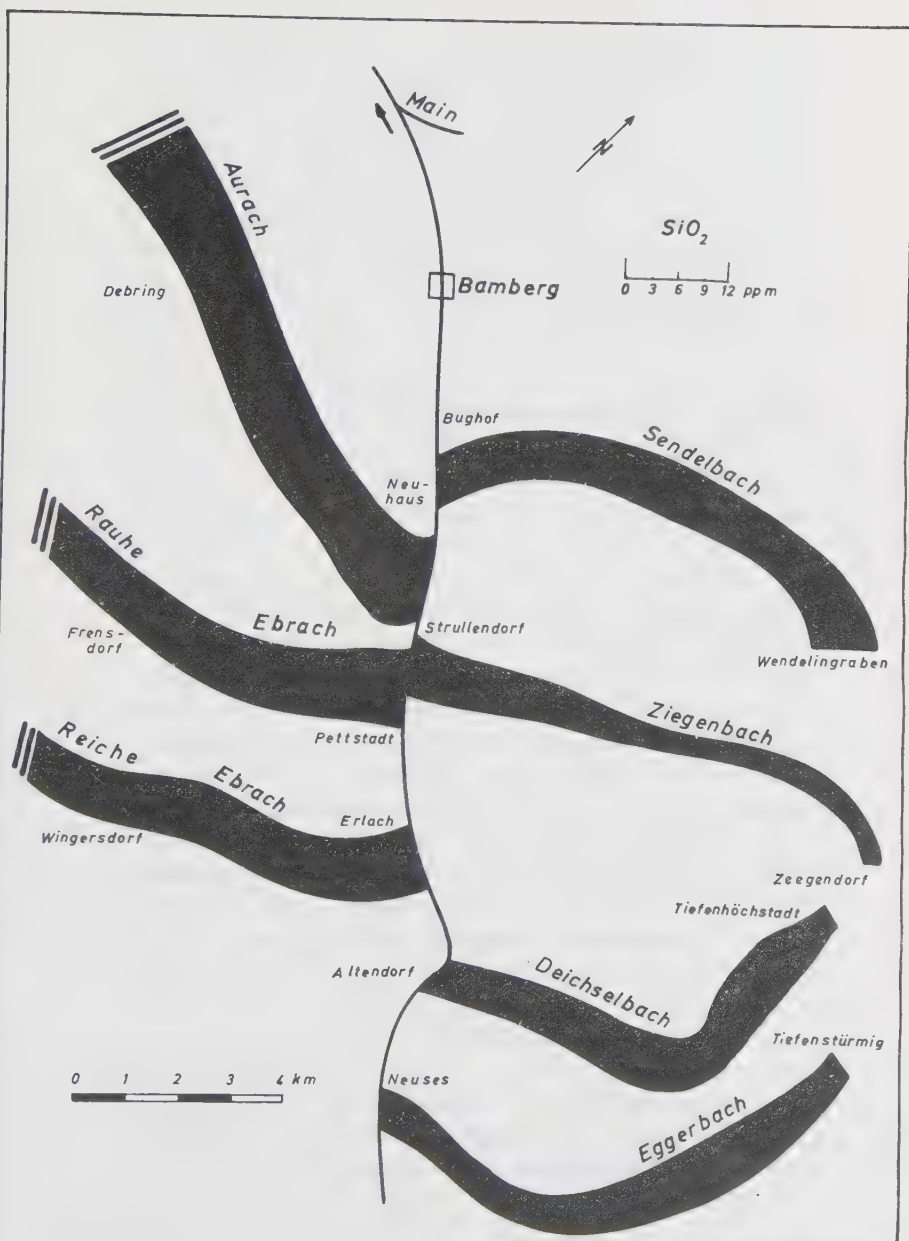
ierlich von 40,1 ppm bei Wingersdorf (21) auf 45,5 ppm an der Einmündungsstelle im Raum Erlach (25). Der Chloridanteil von rund 35 ppm in der Rauhen Ebrach steigt bis auf 37,2 ppm bei der Meßstation Pettstadt (39) an, wobei ihr kleiner Nebenbach bei der Meßstation Untergreuth (33) einen ziemlich hohen Anteil von 68,5 ppm in seinen Huminwässern aufweist. Die kleine Schichtquelle des Keuperlandes bei Waizendorf (34) hält die höchste Konzentration an Chlorid-Ionen mit 78,8 ppm im gesamten Untersuchungsgebiet, wobei zu berücksichtigen ist, daß das Quellwasser wegen seiner außerordentlich langsamen Fließgeschwindigkeit nicht selten und nicht wenig mit dem umliegenden Müll und Düngemittel vermischt wird, was zu verfälschten Ergebnissen führen könnte. Die Analysierung des Chloridgehaltes in der Aurach brachte Meßergebnisse zwischen 42,4 ppm beim Eintritt in das Untersuchungsgebiet (Debring, 36) und 41,3 ppm bei der Einmündung in die Regnitz bei Neuhaus (38).

8.6. Kieselsäuregehalt (SiO_2)

In allen Gewässern ist Kieselsäure in einer Größenordnung von 5 bis 15 ppm nachweisbar. In besonders weichem Grundwasser mit einem pH-Wert von unter 10 tritt die Kieselsäure mit nur 0,5 bis maximal 3 ppm auf. Insgesamt aber entspricht die Höhe des Kieselsäuregehaltes im Gegensatz zu Phosphat, Nitrit oder Chlorid nicht dem Verunreinigungsgrad des Wassers. Die drei Malmbrunnen im Oberlauf des Deichselbaches zeigen trotz ihrer höchsten Reinheit, die sogar ohne Aufbereitung die Verwendung als Trinkwasser ermöglichen würde, einen durchwegs höheren Kieselsäuregehalt, der sogar den im Jahresdurchschnitt gemessenen SiO_2 -Wert des Deichselbaches etwas übersteigt (vgl. Abb. 27). Der Deichselbach weist bei der Einmündungsstelle an

Abb. 27

Jahresmittelwert des SiO_2 -gehaltes im nördlichen Abschnitt des Regnitztales.



der Meßstation Altendorf einen Gehalt an Kieselsäure von 5,1 ppm auf. Im Eggerbach tritt die Kieselsäure viel mehr in der oberen Hälfte mit Werten bis zu 5,3 ppm auf, während in seinem Unterlauf allgemein ein niedrigerer Gehalt von rund 5,0 ppm anzutreffen ist. In den Gewässern des Ziegenbaches steigt dagegen die Kieselsäurekonzentration kontinuierlich von rund 4,0 ppm an der Meßstelle Zeegendorf bis auf einen Wert von 5,9 ppm bei der Einmündungsstelle westlich von Strullendorf an. Der letzte im Ostteil fließende Bach, der Sendelbach, behält seinen Kieselsäureanteil von rund 7,2 ppm fast konstant von der Hauptquelle bei Wendelingraben bis zur Einmündung bei Bughof bei. Dieser hohe Kieselsäuregehalt stellt den höchsten Wert unter den Oberflächengewässern im östlichen Teilgebiet dar.

Unter den Flüssen des westlichen Teilgebietes zeigt nur die Aurach eine höhere Belastung durch eine SiO_2 -Konzentration, deren Wert hier zwischen 8,7 ppm beim Eintritt in das Untersuchungsgebiet (bei Debring) und 9,1 ppm an der Einmündungsstelle in die Regnitz schwankt. Bei der Rauhen Ebrach fallen die Kieselsäure-Ionen etwas niedriger ins Gewicht, da ihr Gehalt an der Einmündungsstelle bei Pettstadt bei rund 7,8 ppm liegt, bei Frensdorf sogar noch geringfügig niedriger ist. Mit einem SiO_2 -Wert von rund 6,3 ppm weist die Reiche Ebrach einen fast konstanten Wert im gesamten Verlauf auf, der sich nur um wenige Zehntel bis zur Mündung ändert.

8.7. pH-Wert der fließenden Gewässer

Der pH-Wert stellt einen wichtigen Faktor dar, da er ausnahmslos bei allen bisher beschriebenen hydrochemischen Reaktionen mit berücksichtigt werden muß.

Neben dem freien, schwer bestimmbaren, aggressiven CO_2 liefert der pH-Wert einen ausgezeichneten Anhaltspunkt für die Aggressivität des Wassers, deren Ermittlung eine besonders große Rolle für die Aufbereitung und technische Verwendbarkeit des Wassers spielt, weshalb man ihn unbedingt einbeziehen sollte. In der Praxis ist erwiesen, daß chemische Reaktionen wie die Korrosion von Metallen, das Angreifen eines Gebäudes durch Grund- und Abwässer, der Einfluß von Trinkwasser auf die Leitungen direkt vom pH-Wert abhängen. Die chemischen Kenntnisse der Einwirkungen des pH-Wertes lassen außerdem Rückschlüsse auf die Aggressivität der oberflächennahen Grund- oder Quellwässer ziehen, was unter anderem für die Rohrverlegung in bezug auf die Möglichkeiten von Außenkorrosion der Rohre oder von Baugrund von Bedeutung ist. Die Wässer kalkigen oder mergeligen Ursprungs haben, so lange sie nicht durch eindringende fremde Wässer beeinflusst sind, schwach basischen Charakter mit einem pH-Wert von 7,2 bis 7,8, z.B. alle Brunnenwässer von Tiefenhöchstädt, Frankendorf, Stackendorf, sowie das Malm-Quellwasser von Tiefenstürmig (27). In den Keuper-sanden haben die Wässer im allgemeinen einen etwas höheren alkalischen Charakter mit pH-Werten von 7,9 und mehr (Meßstation Jungenhofen und Rothensand). Die Speichergesteine des Doggers weisen dagegen einen pH-Wert von 7,1 bis 7,5 auf (z.B. Quellen bei Tiefenstürmig, Friesen oder Wendelingraben). Als einziges Speichergestein im Untersuchungsgebiet zeigt das eisenhaltige Lias-Quellwasser bei Seigendorf (47) einen schwach sauren Charakter ($\text{pH} = 6,8$), während die Quelle bei Geisfeld (55) mit derselben stratigraphischen Position fast neutrales Wasser liefert. In dem stark chemisch verunreinigten Wasser des kleinen Nebenbaches bei Röbersdorf (24) wurden sogar sehr unterschiedliche pH-Werte zwischen 4,2 (im Juni 1975) und 8,6 (im April 1975) gemessen, was eine extrem

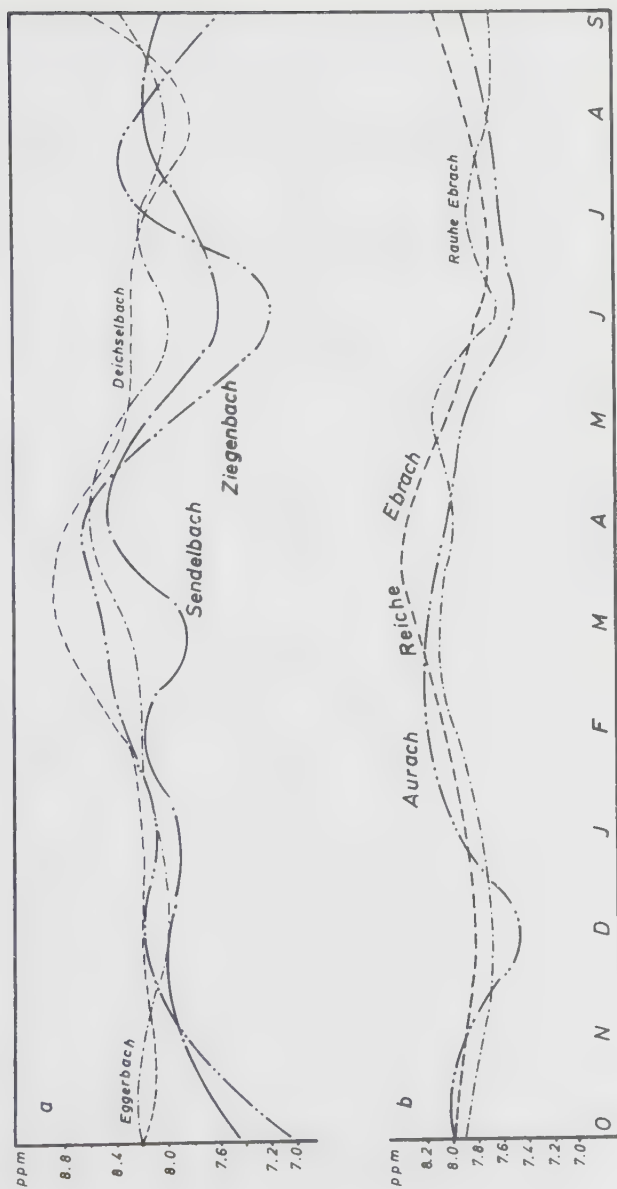
hohe Schwankung des pH-Anteils darstellt, die aber allein auf das Einleiten von Industrieabwässern an dieser Stelle zurückzuführen ist (vgl. auch Abb. 70). Die vier Bäche des östlichen Teilgebietes zeigen wie folgt in ihrem gesamten Verlauf einen höheren pH-Wert als die Flüsse im Westteil:

<u>Ostteil:</u>			pH-Wert	<u>Westteil:</u>			pH-Wert
Sendelbach	Ø	7,82		Aurach	Ø	7,79	
Ziegenbach	Ø	7,89		Rauhe Ebrach	Ø	7,86	
Deichselbach	Ø	8,10		Reiche Ebrach	Ø	7,92	
Eggerbach	Ø	8,19					
Mittelwert	Ø	8,0		Mittelwert	Ø	7,85	

Abb. 28 stellt die Entwicklung der pH-Werte der oben genannten sieben Regnitzzuflüsse im Untersuchungsjahr 1974-75 dar. Auffällig sind der hohe pH-Unterschied und dessen größere Schwankungen in den im Ostteil fließenden Gewässern. Der Ziegenbach weist einen pH-Bereich von 7,1 (im Oktober 1974) bis 8,6 (im Mai 1975) auf, die maximale Schwankung im Untersuchungsgebiet überhaupt. Der Eggerbach ändert dagegen seinen pH-Wert von 8,0 im Dezember 1974 auf maximal 8,6 im April 1975. Während im Sendelbach ein völlig unregelmäßiger pH-Wert überwiegt, zeigt der Deichselbach mit seinen Lias-, Dogger-, und Malmwässern den höchsten erreichbaren pH-Wert von 8,9 im Mai, gegenüber einem Minimumwert von 7,8 im August 1975. Insgesamt stellen die vier Bäche im ganzen Jahr schwach bis mittelstark alkalische Gewässer dar.

Die Flüsse im Westteil zeigen im Gegensatz zu denen im Osten einen ausgeglicheneren pH-Wert, der sich zwischen 7,4 (in der Aurach) und 8,4 (in der Rauhen Ebrach) bewegt. Die Schwankungen in den einzelnen Wasserläufen selbst liegen nur bei etwa 0,5 in der Rauhen Ebrach, 0,6 in der Reichen Ebrach und 0,8 in

Abb. 28 ENTWICKLUNG DER pH-WERTE in den Fließgewässern des östlichen (a) und westlichen (b) Teils des nördl. Regnitztales in der Zeit von Okt. 74 bis Sept. 1975.



der Aurach. Diese geringen pH-Schwankungen der Flüsse in diesem Gebiet sind abgesehen von ihrem geologischen Ursprung dadurch zu erklären, daß diese wesentlich wasserreicher sind als die vier Bäche des Ostteils und daher durch die zufließenden Abwässer weniger beeinflusst werden können, während die kleinen Bäche des Ostteils, besonders die wasserärmeren Ziegen- und Sendelbach, wie schon erwähnt, stärker unter dem Zufluß von Abwässern leiden.

8.8. Organische Substanzen im Wasser (CSV)

Die im Wasser vorhandenen organischen Substanzen, ob tierisch oder pflanzlich, beeinflussen den im Wasser gelösten Sauerstoff. In diesem Sinne soll der chemische Sauerstoffverbrauch dieser Organismen durch ein besonders empfindliches Oxidationsmittel, nämlich Kaliumpermanganat, bestimmt werden.

Dieser Kaliumpermanganatverbrauch wird neben Ammonium- und Nitritverbindungen immer der Bestimmung der hygienischen Beschaffenheit des Wassers zugrunde gelegt, obwohl diese nicht unbedingt als Maß für die Gesamtheit der im Wasser vorhandenen organischen Stoffe herangezogen werden kann. Generell aber steigt die sog. Permanganatzahl (ausgedrückt in ppm oder mg/l) des Wassers bei der Erhöhung des Verunreinigungsgrades, wenn diese im Wasser durch tierische oder menschliche Abfallstoffe verursacht wurden. Quell-, Grund- und Brunnenwasser haben grundsätzlich, wenn sie nicht durch fremde Wässer beeinflusst sind, einen Kaliumpermanganatverbrauch von maximal 20 ppm. Eine Permanganatzahl von unter 12 ppm erlaubt fast immer eine unbedenkliche Verwendung als Trinkwasser ohne vorherige Aufbereitung. Die Brunnen bei Tiefenhöchststadt, Frankendorf und in geringem Maße Stackendorf werden gelegentlich als reines Trink-

wasser genutzt, ein Verwendungszweck, dem auch oft die Doggerquellen von Tiefenstürmig (28) dienen. Der Charakter des Oberflächenwassers ist jedoch naturgemäß sehr starken Schwankungen unterworfen, da es in der Regel reich an organischen Substanzen ist, die sich unregelmäßig ändern können. Über gewisse enge Grenzen hinaus sind sie deshalb im Wasser unerwünscht, weshalb sie durch Filtern oder auf chemischen Weg weitgehend reduziert werden. Es gilt eine annähernde Richtzahl von 1 ppm Kaliumpermanganatverbrauch pro Liter gleich 5,25 ppm organische Substanzen im Wasser (HÖLL 1968). Hoher KMnO_4 -Verbrauch berechtigt besonders bei hohen Eisen-, Nitrit- oder Phosphatgehalten zur Annahme, daß ein Teil dieser Stoffe huminsauer gebunden ist. Wie Abb. 79 im Anhang zeigt, weist die Huminwasserprobe der Meßstation Untergreuth (33) mit Abstand den größten KMnO_4 -Verbrauch aller Wasserproben auf, wodurch gleichzeitig die reichliche Beimischung von Eisen, Phosphat und Nitrit in dieser Probe bewiesen wird. Die Höhe der vorhandenen organischen Stoffe im Wasser ist auch durch seine Farbe bzw. Trübung feststellbar, da z.B. reines Quell- oder Brunnenwasser, das nur Spuren von organischen Substanzen beinhaltet, völlig klar, bzw. farblos aussieht. Bei Erhöhung der Permanganatzahl von 10 auf 15 ppm ist das Wasser gelblich grün, bis 25 ppm hat es eine gelbe und bei 50 ppm und mehr eine bräunlich grüne Farbe. Die Flüsse des westlichen Teilgebietes sind alle graugrün und weisen einen KMnO_4 -Verbrauch von rund 22 bis 26 ppm auf, wobei die Reiche Ebrach in diesem Zusammenhang die höhere Permanganatzahl bietet. Die im Ostteil fließenden Gewässer haben naturgemäß einen niedrigeren KMnO_4 -Verbrauch, dessen Höhe bei Egger-, Deichsel- und Sendelbach um rund 17,0 ppm und beim Ziegenbach bei 20,3 ppm liegt.

- Durch Vergleich des KMnO_4 -Verbrauchs mit Phosphat-Nitrit- und Chloridgehalten findet man wieder eine

Abb. 29
ORGANISCHE SUBSTANZEN, ausgedrückt durch KMnO_4 -Verbrauch (in ppm), in
den OBERFLÄCHENGEWÄSSERN der östlichen und westlichen Regnitz-Zuflüsse
in der Zeit von Okt. 74 bis Sept. 1975.



generelle Parallelität dieser Verunreinigungsindikatoren (vgl. Kap. 8.2., 8.3. und 8.5.). -

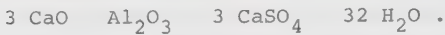
Ein deutlicher Vergleich läßt sich zwischen der Permanganatzahl der östlichen und westlichen Gewässer ziehen, wie dies in Abb. 29 graphisch dargestellt wurde. Starke Schwankungen und stets höhere Permanganatzahlen der westlichen Flüsse charakterisieren den Zustand der Oberflächengewässer hinsichtlich des Gehalts an organischen Substanzen. Für die östlichen Bäche sind November und Juni 1975 die Monate mit dem höchsten und Februar mit dem niedrigsten Kaliumpermanganatverbrauch, während für die Flüsse im Westteil, abgesehen von denselben Maximum- und Minimum-Monaten, auch ein Dritter Höchstpunkt im April zu messen ist, so daß hier in den gesamten Sommermonaten eine Permanganatzahl von rund 30 ppm herrscht. Die Minimumwerte liegen für die westlichen Gewässer bei nur 10,5 ppm KMnO_4 -Verbrauch.

8.9. Beurteilung der fließenden Gewässer in bezug auf ihre Ca- , Mg- , SO_4 - und Cl- Ionenkonzentration

Die Calcium-, Magnesium- und Sulfatgehalte des Wassers bilden zusammen mit den in Kap. 8.5. behandelten Chlorid-Ionen den wesentlichen Teil aller im Wasser gelösten Stoffe, so daß durch eine Ermittlung und eine gleichzeitige Betrachtung dieser vier Komponenten eine klare Aussage über Natur und Herkunft des Wassers gemacht werden kann.

Die Sulfate kommen mit Magnesium und Calcium in den Dolomiten oder dolomitisierten Gesteinen vor, die oft weitflächige Verbreitung finden. In gelöster Form sind sie besonders reichlich in den aus dem westlichen Teilgebiet stammenden Wässern des (Gips-) Keupers vertreten.

In den tonhaltigen Böden bildet die Schwefelsäure sogar ein wasserhaltiges Doppelsalz, Calziumaluminiumsulfat,



Die Sulfaterhöhung tritt besonders in Gebieten auf, in denen durch zersetzten Müll oder Abfall genügend Schwefelwasserstoff entsteht, der dann zu Schwefelsäure oxidiert wird. Durch die Ermittlung der Ca-, Mg- und SO_3 -Ionen kann außerdem die Herkunft der härtebildenden Gesteine festgestellt werden, da, wie bereits in Kap. 8.1.1. erwähnt, die Härte des Wassers direkt zur Konzentration dieser Ionen proportional ist. Der Gehalt der Nichtkarbonathärte ist auch direkt durch die Höhe der Sulfat-Ionen bzw. das Vorkommen der gipshaltigen Speicherstätte besonders im westlichen Teilgebiet bedingt (vgl. auch Abb. im Kap. 8.1.2 und Abb. 20).

Die im Westteil fließenden Gewässer zeigen ihre hohe Nichtkarbonathärte vor allem durch die Höhe der Sulfat-Ionenkonzentration, die etwa 10 bis 15 ppm höher liegt als im Ostteil (vgl. Abb. 30 und 31). Mit Werten von rund 80 ppm in ihrem gesamten Verlauf stellt die Reiche Ebrach einen relativ hohen Gehalt an Sulfat-Ionen und zugleich das härteste Flußwasser im gesamten Untersuchungsgebiet dar (vgl. Abb. 20 und 30). Unter Berücksichtigung dessen, daß auch der Anteil der Nichtkarbonathärte dieses Flusses der höchste unter allen Wasserproben ist, kann nun dieses Flußwasser mit Bestimmtheit als Ca-Mg- SO_4 -Cl-Wasser bezeichnet werden (der Chloridgehalt liegt bei rund 42 ppm, vgl. Abb. 26).

Die Keuperquelle bei Jungenhofen und der kleine Nebenbach von Meßstation Röbersdorf, deren Wässer der Rauhen Ebrach zufließen, haben insgesamt keinen Einfluß auf den Chemismus dieses Flusses, obwohl sie einen chemisch anderen Charakter aufweisen.

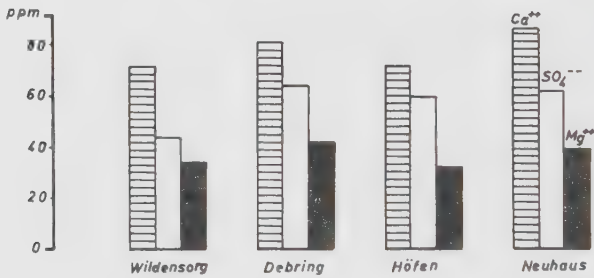
Die Rauhe Ebrach und die Aurach können mehr oder weniger gleiche Speicherstätten aufweisen wie der eben behandelte Fluß und werden daher auch in die gleiche Wassergruppe (Ca-Mg-SO₄-Cl-Wasser) eingestuft (vgl. Abb. 30). Die stark verschmutzten Gewässer von Meßstation Untergreuth (an der Rauhen Ebrach) und Wildensorg (an der Aurach) weisen mehr oder weniger gleiche Ca-, Mg- und SO₄-Ionenkonzentration im Jahresdurchschnitt auf. In der Rauhen Ebrach wurden Calciumwerte von über 90 ppm und in der Reichen Ebrach sogar von 96 bis 103 ppm gemessen. Das Aurachwasser ist im allgemeinen in bezug auf Ca-, Mg- und Sulfationen niedriger belastet als das der beiden oben genannten Flüsse. Calcium erreicht einen Wert von 82 ppm, Sulfat ist mit rund 59 ppm, Magnesiumionen sind mit nur 40 ppm vertreten.

Von den im östlichen Teilgebiet fließenden Gewässern, dem Sendel-, Ziegen- und Eggerbach, führen nur die beiden letztgenannten eindeutig Ca-SO₄-Cl-Wässer mit nur geringem Gehalt an Magnesium-Ionen. Der aus dem Dogger-Beta stammende Sendelbach weist schon an seinem Ursprung bei Wendelingraben einen hohen Magnesium- und relativ sehr hohen Sulfat-Ionengehalt auf (vgl. Abb. 31). Die hohe Konzentration dieser drei Ionenformen kann nur bei Wasser auftreten, das aus Schichten mit einem hohen Gehalt an Sulfatverbindungen stammt. Dies fand in der vorliegenden hydrochemischen Aufnahme sofort insoweit eine Bestätigung, als man berücksichtigt, daß die Dogger-Alpha-Schichten besonders mit ihrem oberen Drittel reichlich lagenweise Gipskristalle führen und so das Dogger-Beta-Wasser in diesem Zusammenhang chemisch beeinflussen können (vgl. auch Kap. 2.2.2.). Die rapide Erhöhung der Magnesiumionen an Station Sendel-Bach und die kontinuierlich steigende Sulfatkonzentration im gesamten Verlauf des Sendelbaches sind Zeugen da-

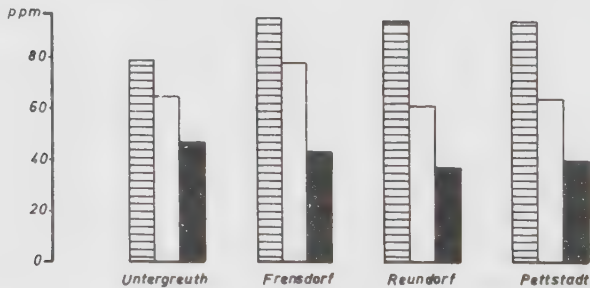
Abb. 30

Statistischer Jahresmittelwert für den Gehalt an Ca-, Mg- und SO_4 -IONEN in den Flüssen des WESTLICHEN Regnitztales, jeweils an den angegebenen Meßstationen:

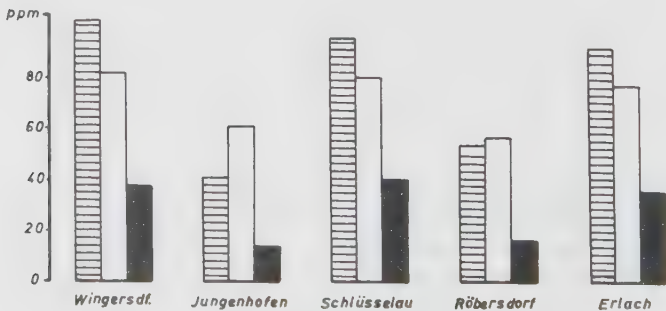
a) Aurach



b) Rauhe Ebrach



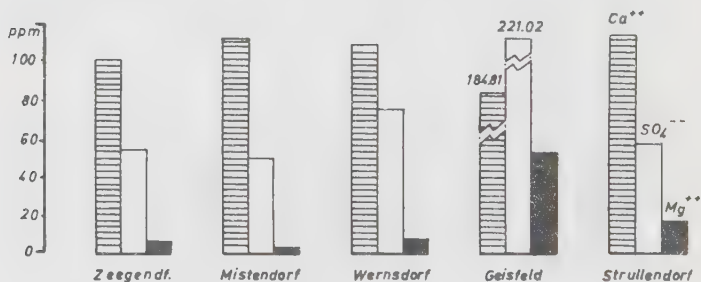
c) Reiche Ebrach



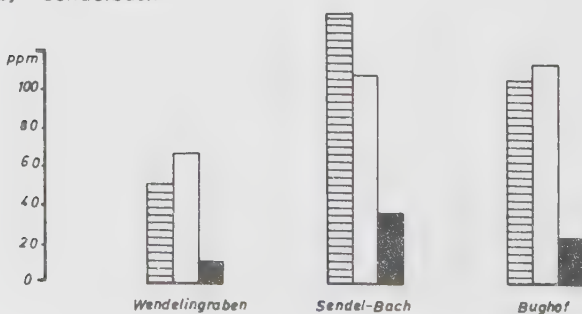
für, daß das Wasser dieses Baches laufend durch kleine Quellen, die noch im oberen Teil des Dogger-Alpha entspringen, beeinflusst wird. Der Sendelbach mündet mit 28 ppm Mg-, 108 ppm Ca- und 115,1 ppm Sulfat-Ionen an der Meßstation Bughof in die Regnitz ein.

Egger- und Ziegenbach sind, abgesehen von der dazufließenden Lias-Quelle der Meßstation Geisfeld, typische Malmwasser führende Bäche im östlichen Teilgebiet. Calciumgehalte von über 100 ppm und mehr und zugleich geringe Magnesium-Ionenkonzentration sind charakteristisch für die wenig dolomitisierten Speichergesteine dieser Gewässer. Eine grobe und auffällige Ausnahme zeigt die als Zufluß des Ziegenbaches beobachtete Lias-Quelle bei der Station Geisfeld mit einem Magnesiumgehalt von rund 58 ppm, einem Calciumanteil von 184 ppm und einer Sulfat-Ionenkonzentration von sogar 221,02 ppm, dem absolut höchsten Betrag aller Sulfatmessungen im Untersuchungsgebiet. Diese Lias-Quelle und die Quelle bei Seigendorf mit der gleichen stratigraphischen Herkunft stellen die Quellen mit dem maximalen Anteil an Mg-, Ca-, und SO_4 -Ionen dar (vgl. Abb. 31 und 32). Die Lias-Quelle bei Seigendorf weist sogar einen Höchstwert von 260,1 ppm Calciumgehalt im Jahresdurchschnitt auf; ihre Sulfatkonzentration von 156,3 ppm wird jedoch von der Geisfelder Quelle mit einem Anteil von 221,02 ppm noch übertroffen. Der Magnesiumgehalt der beiden Quellen ist annähernd gleich: bei Seigendorf wurde er mit 53,4, bei Geisfeld mit 58,6 ppm gemessen. Die tonige und mergelige Ausbildung des Lias, ein oberflächennahes Fließen des Quellwassers in den letzten 100 bis 200 m, Einschaltung der dolomitischen Eisenkarbonatgesteine, linsenförmiges Auftreten von Phosphorit- und Limoniteinschlüssen und schließlich

Abb. 31
Statistischer Jahresmittelwert für den Gehalt an Ca^{++} ,
 Mg - und SO_4 -IONEN in den Flüssen des ÖSTLICHEN
Regnitztales, gemessen an den angegebenen Meßstationen :
a) Ziegenbach



b) Sendelbach



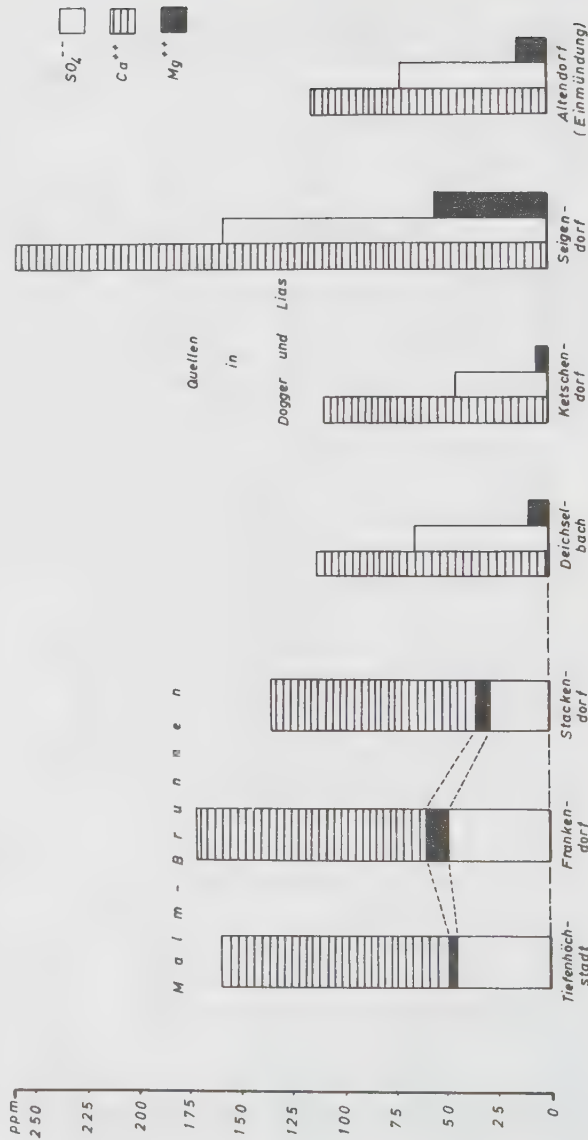
c) Eggerbach



limonit-, feldspat- und pyrit-haltige Schiefer- und Kalk-(Sand-)Steinbänke sind gemeinsam die Ursache für das ungewöhnliche Quellwasser aus den Liasablagerungen des Untersuchungsgebietes, dessen gelöster Eisengehalt, wie bereits in Kap. 8.4 angeführt, besonders an der Meßstation Seigendorf zu beobachten ist. Die Veränderung der Calcium-, Magnesium- und Sulfat-Ionenkonzentration des Deichselbaches, in den die Seigendorfer Quelle einmündet, wurde, wie aus Abb. 32 ersichtlich, getrennt von den übrigen im Ostteil fließenden Bächen dargestellt, da gerade bei ihm sowohl Malm-Brunnen als auch Quellwasser aus Lias und Dogger von ihren jeweiligen Austrittsstellen bis zur Einmündung des Deichselbaches in die Regnitz sehr deutlich zu verfolgen sind. Die ersten Meßstationen Tiefenhöchst, Frankendorf und Stackendorf liefern mit ihren Malmbrunnen das hauptsächliche Wasser, das an der Meßstelle Deichselbach hydrochemisch untersucht worden ist. Nach dem Zufluß der Doggerquelle bei Ketschendorf und der oben genannten Lias-Quelle mündet der Deichselbach an der Meßstation Altendorf in die Regnitz ein.

Die drei Malmbrunnen von Tiefenhöchst (42), Frankendorf (43) und Stackendorf (44) weisen mehr oder weniger gleiche chemische Beschaffenheit auf. Sie sind mit ihren 15 bis 20 ppm Chlorid-Ionen eindeutig als $\text{Ca-SO}_4\text{-Cl}$ -Wasser zu bezeichnen, was unter Berücksichtigung der vorher behandelten Malmwässer auch zu erwarten war. Der niedrige Magnesiumgehalt von 3 bis 9 ppm in dem reinen Quellwasser ist mit Bestimmtheit auf das primäre Fehlen magnesiumhaltiger Gesteine in den Speicherschichten zurückzuführen. Sie spielen allgemein keine Rolle. Mit 102 bis 112 ppm Calcium und 28,8 bis 51,5 ppm Sulfat-Ionen liefern diese Brunnen eindeutig typisches Malmwasser. Etwa 10 km südlich des ersten Brunnens wurden die Wässer an der

Abb. 32
VERÄNDERUNG der Ca-, Mg- und SO_4 -IONENKONZENTRATION des DEICHSELBACHES
zwischen der Austrittsstelle seiner Hauptbrunnen und seiner Einmündung in die Regnitz.



Meßstelle Deichselbach chemisch analysiert. Mit 113 ppm Calcium-, 65 ppm Sulfat- und nur rund 8 ppm Magnesiumgehalt handelt es sich hier immer noch unverändert um ein $\text{Ca-SO}_4\text{-Cl}$ -Wasser, dessen Chloridgehalt naturgemäß wegen der Verschmutzung bzw. des Einleitens fremder Abwässer seit der Austrittsstelle den Ursprungswert mit 23,6 ppm etwas übersteigt.

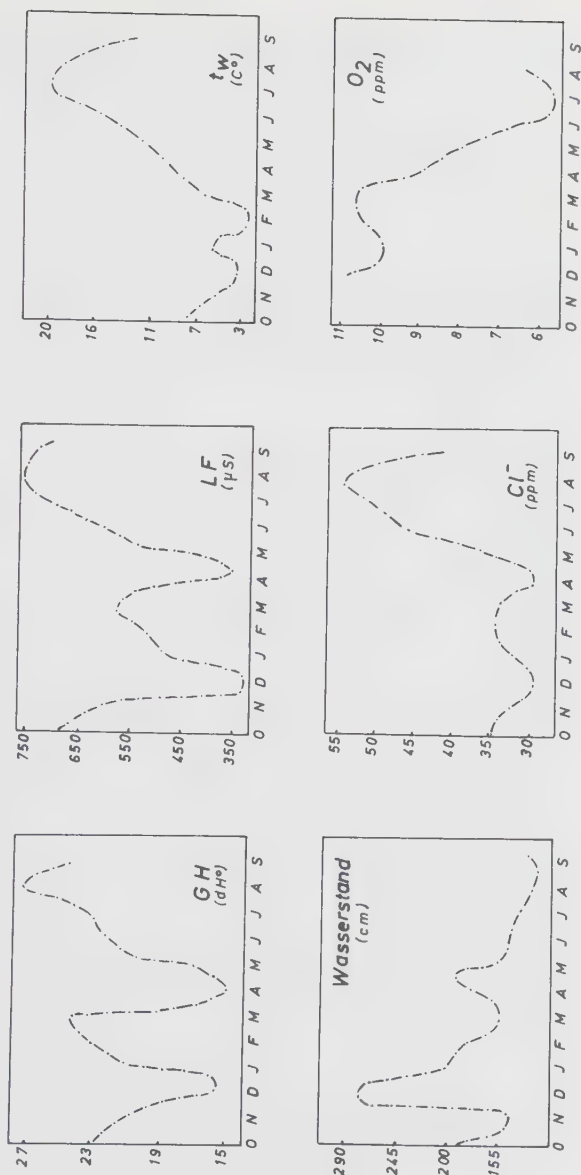
Das Doggerwasser der Meßstation Ketschendorf mit seinem $\text{Ca-SO}_4\text{-Cl}$ -Wasser kann die chemische Eigenschaft des Deichselbaches kaum verändern, besonders wenn das reine Quellwasser nur noch einen Chloridgehalt von rund 14 ppm aufweist. Nach dem Zufluß der Lias-Quelle, deren Wasser nur chemisch aber nicht mengenmäßig von Interesse ist, wurde das Wasser des Deichselbaches wenige Meter vor der Einmündung in die Regnitz westlich von Altendorf chemisch untersucht. Es ergaben sich für die verschiedenen Ionen verschiedene Zuwachsraten, so daß Calcium 113,2 ppm, Magnesium 15,4 ppm, Sulfat 66,5 ppm und Chlorid 28,2 ppm erreichten, d.h. es handelt sich weiterhin um $\text{Ca-SO}_4\text{-Cl}$ -Wasser, allerdings mit kontinuierlich steigender Ionenkonzentration. Die übrigen bereits behandelten chemischen oder physikalischen Elemente haben grundsätzlich für die Betrachtung der Natur des Wassers keine bzw. nur geringe Bedeutung, sie werden deshalb in diesen Zusammenhang nicht mit einbezogen. Für die absoluten Ergebnisdaten aller hydrologischen Untersuchungen siehe Tab. 67 bis 105 im Anhang.

9. Relation und Einfachkorrelation von elektrischer Leitfähigkeit, Wassertemperatur, Gesamthärte, Chlorid- und Sauerstoffgehalt unter Berücksichtigung des Abflusses an Hand eines Beispiels

Die in diesem Abschnitt behandelten Untersuchungs-

ergebnisse stehen mit den bereits durchgeführten hydro-chemischen Analysen und vor allem mit der Beurteilung des Wassers nicht in direktem und unmittelbarem Zusammenhang, sondern sind vielmehr allgemeingültige Aussagen über Eigenschaften und physiko-chemischen Charakter des Wassers und insbesondere deren Zusammenhänge untereinander, welche sich nur durch Gelände- und Laboruntersuchungen ergaben. Die Versuchsergebnisse lassen sich jedoch ohne weiteres auf alle anderen natürlichen Wässer ausdehnen, obwohl sämtliche Meßdaten sich nur auf ein bestimmtes Gebiet und auf mehr oder weniger einheitliche Gewässer konzentrieren. Unter den angeführten Gruppen von Meßdaten über Gesamthärte (GH), elektrische Leitfähigkeit (LF), Wassertemperatur (tw), Chlorid (Cl)- und Sauerstoffgehalte (O_2), sowie die Veränderung des Wasserstandes herrschen eine Reihe von Zusammenhängen, wechselseitigen Auswirkungen oder Abhängigkeiten. Die Auswertung dieser in einem ganzen Untersuchungsjahr gesammelten Meßdaten erfolgt zweckmäßigerweise nach dem Prinzip der Relation oder Einfachkorrelation, wobei zwei Variable auf ihre gegenseitige Beziehung untersucht werden. Die Analysen können dazu dienen, das Ausmaß der Abhängigkeit einer Variablen, z.B. der Gesamthärte des Wassers, von einer zweiten Variablen, z.B. der elektrischen Leitfähigkeit in derselben Probe numerisch zu erfassen, soweit überhaupt ein sinnvoller Zusammenhang zwischen zwei ausgewählten Komponenten besteht. Als für diesen Zweck besonders geeignete Stelle bot sich die Meßstation Pettstadt (39) an, die Einmündungsstelle der Rauhen Ebrach in die Regnitz, die mit einem modernen Abflußmeßgerät zusätzlich zu einem normalen Pegel ausgerüstet ist und von der langjährig bestimmte Meßdaten vorliegen. Die Abflußdaten, die dank ihrer langjährigen Aufzeichnung auch die übrigen Flüsse und Bäche dieser Region repräsentieren können, wurden der

Abb. 33 Relation bzw. Korrelation von GESAMTHÄRTE, elektr. LEITFÄHIGKEIT, WASSERTEMP., CHLORID- und SAUERSTOFFGEHALTEN in der Rauben Ebrach mit Berücksichtigung der Entwicklung des WASSERSTANDES am Pegel Pettstadt von Okt. 74 bis Sept. 1975.



Gesamthärte gegenübergestellt, da die Gesamthärte, auf Calcium- und Magnesiumverbindungen beruhend, den größten und höchsten Anteil der im Wasser gelösten Salze beinhaltet und zumindest ihre tendenzielle Schwankung annähernd der Veränderung der Gesamtmenge der im Wasser gelösten Hauptionen entsprechen kann (FÖRSTNER 1974). Zwischen der Gesamthärte der Wasserprobe an der Meßstation Pettstadt und der elektrischen Leitfähigkeit besteht eine ausgezeichnete Einfachkorrelation, wie aus Abb. 33 zu ersehen ist. Die elektrische Leitfähigkeit ist direkt zu den im Wasser gelösten Ionen aller Art proportional, d.h. je höher der Anteil der Salze in der Lösung, desto höher auch die elektrische Leitfähigkeit. Diese Feststellung wurde in Kap. 6.2.3. bei der Erläuterung des Meßvorgangs mit dem Leitfähigkeit-Meßgerät bereits in anderer Form dargestellt. Den zwei Minimumstellen der Gesamthärte in den Monaten Dezember und Mai stehen zwei Minimumpunkte der elektrischen Leitfähigkeit in denselben Monaten gegenüber. August ist dagegen der Monat mit den höchsten gemessenen Werten der Gesamthärte, sowie der elektrischen Leitfähigkeit. Die Verwendbarkeit und Durchführmöglichkeit der Messung der Leitfähigkeit für die Bestimmung der Gesamthärte hat FLEISCHER 1925 untersucht. Besondere Anwendung findet diese Untersuchungsmethode für Trinkwasser mit einem Chloridgehalt von unter 1000 ppm und niedrigen Alkalikarbonat- und Nitratgehalten, also speziell für im Arbeitsgebiet reichlich vorhandene Gewässer. Nach der Ermittlung der Karbonathärte ist die Gesamthärte nach der Formel $GH = (L - 3 Cl^- - 20 + K (F_s - F_k)) : F_s$ zu bestimmen, wobei

L = elektrische Leitfähigkeit in Milli-Siemens

Cl = Chloridgehalt in ppm

20 = Leitfähigkeitswert der übrigen Ionen, die

nicht mit der Härte des Wassers in Verbindung stehen

K = Karbonathärte in dH°

F_s = Faktor für die Leitfähigkeit von 1 dH° Nicht-karbonathärte

F_k = Faktor für die Leitfähigkeit von 1 dH° Karbonathärte.

Die dargestellte Beziehung zwischen Gesamthärte und elektrischer Leitfähigkeit kann ohne weiteres auf alle anderen Gewässerarten, sogar auf Salzwasser ausgedehnt werden.

Mit kleiner Änderung der Intensität der Werte (Amplitude) herrscht auch eine Einfachkorrelation zwischen Chlorid-Ionen und Gesamthärte während der zwölf Monate Untersuchungszeit. Die Erhöhung der Gesamthärte bedeutet im weiteren Sinne nichts anderes als die Steigerung der gelösten Kationen, insbesondere der Ca- und Mg-Ionen, die insgesamt zur gleichzeitigen Steigerung der Chloride führen, die die erforderlichen Anionen darstellen.

Grundsätzlich zeigen die Leitfähigkeitsdaten und Chloridgehalte eine gleiche zeitliche Entwicklung. Interessant ist auch die Entwicklung des Wasserstandes und dessen umgekehrte Proportionalität mit der Gesamthärte, elektrischer Leitfähigkeit und Chlorid, wobei nur der Oktoberwert gewisse Änderungen aufweist (vgl. Abb. 33 S. 171). Trotz einer anscheinenden Relation stehen Wassertemperatur und Chloridgehalt nicht in irgendwelchem Zusammenhang miteinander, da die Messung des Chlorids immer bei Zimmertemperatur, d.h. ohne Einfluß oder Berücksichtigung der Wassertemperatur vorgenommen wurde. Auch bei der Messung der elektrischen Leitfähigkeit wurde die Wassertemperatur direkt mit Hilfe des eingebauten Temperaturreglers am

Meßgerät miteinbezogen.

Die bekannte Annahme, daß die Zunahme der Wassertemperatur einer Abnahme des Sauerstoffgehaltes gegenübersteht, wird hier besonders deutlich durch die letzten Diagramme von Abb. 33. Obwohl die Sauerstoffmessungen nicht das ganze Jahr über durchgeführt werden konnten, zeigen die übrigen Daten eine klare Einfachkorrelation mit den Messungen der Wassertemperatur im ganzen Jahr. Die hohen Sommertemperaturen des Wassers der Rauhen Ebrach haben die niedrigsten gelösten Sauerstoffgehalte des Wassers im Monat Juli zur Folge, während die Wintermonate mit Temperaturen von durchschnittlich 2 bis 3°C im Wasser Sauerstoffkonzentrationen von rund 10 ppm aufweisen können.

10. Quellen

10.1. Allgemeine Vorbemerkungen

Als natürliche Austrittsstellen des Grundwassers sind im ganzen Gebiet zahlreiche kleinere und größere Quellen anzutreffen, die nur teilweise regelmäßig in ihren Eigenschaften untersucht werden. Generell kommen in dieser Region aus Gründen der tektonisch wenig beanspruchten Lagerung nur zwei Quellentypen vor. Zum ersten und zugleich dominierenden Typ gehören solche Quellen, die am Anschnitt eines Grundwasserleiters durch einen Taleinschnitt oder durch Erosion herbeigeführte Endigungen des Wasserträgers als sogenannte absteigender Schichtquelle zutage treten. Zu dieser Gruppe gehören alle Dogger- und Malmquellen, die ihren Ursprung in den engen Talenden des östlichen Teilgebietes finden, wo gerade die widerstandsfähigeren Gesteine des Braunen oder Weißen Jura zahlreiche Anschnitte an Stellen zeigen, wo kleine Rutschungen oder Verwerfungen einen stärkeren Einfluß der Erosion verursacht haben. Die zweite Gruppe der auftretenden

Schichtquellen bilden die kleinen Keuperquellen im Westteil und die zwei Lias-Quellen bei Seigendorf und Geisfeld im Ostteil (vgl. Abb. 16). Bei natürlichem Auskeilen des Wasserleiters als Folge der Verengung des Durchflußquerschnitts tritt aus den an der Oberfläche lagernden, durchlässigen und wasserführenden Schichten, in denen das Wasser sich bis zur Austrittsstelle bewegt hat, die Quelle zutage. Zu Zeiten niedrigen Grundwasserstandes in den Sommermonaten treten nur Quellen des unteren Schichtpaketes aus, die nicht selten breite sumpfige Hänge verursachen und sogar im Hochsommer oder bei lang anhaltender Trockenheit völlig austrocknen. Zu dieser Gruppe gehören die Keuperquelle bei Rothensand, die Doggerquellen bei Mistendorf und südwestlich von Friesen. An morphologisch höheren Stellen treten in der Regel nur periodisch fließende Quellen auf, die nur nach Zeiten hoher Niederschläge, also nach begünstigter Grundwasserneubildung nennenswerte Schüttungen zeigen. In trockenen Zeiten sind sie in der Regel ohne Wasser. Solche Quellen können, wenn sie ihre Austrittsstellen weit voneinander, morphologisch aber übereinander haben, eine echte Stockwerkquelle vortäuschen. Sie gehören jedoch in Wirklichkeit nur zu einem einzigen Grundwasserkörper. Die Quellen südlich bis südöstlich von Jungenhofen (im Keuper) und Wendelingraben im Nordosten des Gebietes (im Dogger) sind typisch für solche Schichtquellen (vgl. Abb. 16).

Speziell im Osten des Gebietes, wo gerade die Schuttmasse der Malmgesteine oft eine ausgedehnte Verbreitung findet, tritt eine Reihe von Quellen auf mit recht niedriger und unregelmäßiger Ergiebigkeit, die sogenannten Schuttquellen. Wenn diese Schuttmassen von Bergstürzen und die in diesem Teil des Untersuchungsgebietes weit verbreiteten, sich an den Fuß

der steileren Malmgehänge anlehnenden Schutthalden genügende Größe besitzen, so können sich in ihnen selbständige Grundwasservorräte sammeln, die dann auf der meist schwerer durchlässigen Unterlage bergab fließen und am Fuße der Schutthalden und Bergsturmassen in Form von kleineren Quellen wieder zutage treten. Noch häufiger empfangen derartige Schuttkegel und Halden ihr Wasser aus dem Gebirge, an das sie sich anlehnen, so daß sie nur die Weiterleitung der Quellen übernehmen. In diesem Fall liegt natürlich der eigentliche Ursprung unter dem Schutt verborgen, wodurch die am Fuße der Schuttmassen austretende Quelle als eine sekundäre zu betrachten ist. Die Quellen südöstlich von Tiefenhöchstadt und nördlich der Straße von Gunzendorf nach Drügendorf am Kautschberg gehören zu dieser Gruppe, die allerdings aus Gründen geringer Ergiebigkeit, Unechtheit und Unzuverlässigkeit des Wassers in den vorliegenden hydrochemischen Untersuchungen nicht direkt berücksichtigt wurden, ihr Wasser wurde nach der Einmündung zusammen mit dem Flußwasser nur als fließendes Oberflächenwasser betrachtet und analysiert.

10.2. Hydrographisches Verzeichnis

Wie bereits erwähnt, werden die Quellwässer teils als Trink-, teils als Brauchwasser oder auch nur für die Landwirtschaft verwendet, daher wurden nur die für die Trinkwasserversorgung bestimmten Quellen auf ihre Fördermenge regelmäßig untersucht. Diese Schüttungsmessungen beschränken sich allerdings im Arbeitsgebiet auf nur drei Quellen bei Viereth, Roßdach und Wiesenthau (vgl. Abb. 14).

Die erste Quelle liegt im Ortsteil Hohenmühle, ca. 9,1 km nordwestlich von Bamberg bei Viereth und ist

in der Vorterrasse des Main-Regnitz-Tales auf Kartenblatt Eltmann angelegt. Zusammen mit 51 Messungen im Sommer- und Winterhalbjahr 1974 wurden 229,2 Liter Wasser aufgefangen, was einem Durchschnittswert von 4,49 Liter pro Sekunde entspricht. Mit 4,69 Liter Jahresdurchschnitt für das Sommer-Halbjahr liegen die Werte nur um 0,41 Liter pro Sekunde höher als im Winter-Halbjahr 1974. Im ganzen Jahr 1975 lieferte insgesamt diese Quelle mit 481,13 Liter mehr als doppelt so viel Wasser als im Vorjahr, was einem Jahresdurchschnitt von 9,25 Liter pro Sekunde entspricht. Im Winter-Halbjahr 1975 förderte diese Quelle 10,35 Liter pro Sekunde, fast 2,0 Liter mehr als im Sommer desselben Jahres; insgesamt wurden nach 26-maligen Messungen im Winter-Halbjahr 268,4 Liter und genauso vielen Messungen im Sommer-Halbjahr 1975 rund 212 Liter gefördert.

Im Jahr 1974 dagegen wurde 26 mal im Sommer, aber nur 25 mal im Winter gemessen. Dem einmaligen Fehlen der Meßdaten während der Wintermonate für die Feststellung des Mittelwertes eines Jahres darf jedoch keine Bedeutung beigegeben werden (vgl. Abb. 34 und 35).

Fast 30 km entfernt in nördlicher Richtung wurde auf Kartenblatt Scheßlitz die Quelle Roßdach in ihren jährlichen Schüttungsmengen gemessen (vgl. Abb. 14). Diese Quelle weist mit 3225,6 Litern 1974 mehr als das 10-fache der Schüttungskapazität der vorgenannten Quelle auf, wobei von dieser Förderungsmenge 1740,0 Liter auf die Schüttungen des Winter- und 1485,6 auf die des Sommer-Halbjahres entfallen. Weit höher liegen sogar die Werte des wasserreichen Jahres 1975, wo in 52 Messungen insgesamt 4414,8 Liter, davon 3206,0 in den Winter- und 1208,8 in den Sommermonaten zu ermitteln waren. Im Sommer- wurden durchschnittlich 57,1 und im Winter-Halbjahr 1974 67,0 Liter Wasser

Abb. 34

Hydrographisches Verzeichnis der drei Quellen im Bereich des nördlichen Regnitztales, an denen regelmäßige Beobachtungen vorgenommen wurden.

(Sommer- und Winter-Halbjahr 1974)

	Hohenmühle	Roßdach	Ochsenquelle
Ortschaft	Viereth	Roßdach	Wiesenthau
Lokalität	9,1 km W' Bamberg	10 km NE' Scheßlitz	6,2 km E' Forchheim
Topogr. Blatt	Eltmann	Scheßlitz	Forchheim
Schüttung im Sommer-Halbjahr S_{sh} 1974 in L/s	122,07	1485,60	22,60
n = Anzahl der Beobachtungen	26	26	26
Schüttung im Winter-Halbjahr S_{wh} 1974 in L/s	107,13	1740,00	22,75
n = Anzahl der Beobachtungen	25	26	26
$S = S_{sh} + S_{wh}$	229,20	3225,60	45,35
$n = n_{sh} + n_{wh}$	51	52	52
Mittel für das Sommer-Halbjahr	4,69	57,13	0,86
Mittel für das Winter-Halbjahr	4,28	66,92	0,88
Jahresmittel $S:n$ in L/s	4,49	62,03	0,87

Abb. 35

Hydrographisches Verzeichnis der drei Quellen im Bereich des nördlichen Regnitztales, an denen regelmäßige Beobachtungen vorgenommen wurden.

(Sommer- und Winterhalbjahr 1975)

	Hohenmühle	Roßdach	Ochsenquelle
Ortschaft	Viereith	Roßdach	Wiesenthau
Lokalität	9,1 km W' Bamberg	10 km NE' Scheßlitz	6,2 km E' Forchheim
Topogr. Blatt	Eltmann	Scheßlitz	Forchheim
Schüttung im Sommer-Halbjahr S_{sh} 1975 in L/s	212,49	1208,80	26,66
n = Anzahl der Beobachtungen	26	26	26
Schüttung im Winter-Halbjahr S_{wh} 1975 in L/s	268,44	3206,00	29,32
n = Anzahl der Beobachtungen	26	26	26
$S = S_{sh} + S_{wh}$	481,13	4414,80	55,98
$n = n_{sh} + n_{wh}$	52	52	52
Mittel für das Sommer-Halbjahr	8,17	46,49	1,03
Mittel für das Winter-Halbjahr	10,35	123,30	1,12
Jahresmittel $S:n$ in L/s	9,25	84,90	1,08

gefördert. Im Winterhalbjahr 1975 wurde mit 123,3 Litern pro Sekunde knapp dreimal so viel Wasser bei jeder Messung geliefert, genauso viel wie in den Sommermonaten des gleichen Jahres. Die Quellschüttungen 1974 betrugen zusammen nach 52-maliger Ermittlung durchschnittlich 64,03, im Jahr 1975 aber 84,90 Liter Wasser pro Sekunde (vgl. Abb. 34 und 35).

Mit nur 0,87 Liter pro Sekunde im Jahresdurchschnitt zeigt die Ochsenquelle bei Wiesenthau unter allen Quellen, an denen Schüttungsmessungen vorgenommen wurden, die geringste Ergiebigkeit. Im gesamten Jahr 1974 wurden in 52 Messungen nur 45,35 Liter Wasser entnommen, davon 22,7 Liter im Winter- und 22,6 im Sommer-Halbjahr. Mit ca. 20% Zunahme lieferte das Winter-Halbjahr 1975 über 29,3, das Sommer-Halbjahr 26,6 Liter, wobei die Schüttungsmessungen jeweils 26 mal ausgeführt wurden. Im Jahresdurchschnitt wurden der Ochsenquelle nur 1,08 Liter pro Sekunde entnommen (vgl. Abb. 34 und 35).

10.3. Ergiebigkeitsschwankungen

Die Veränderlichkeit von Quellen kann sich abgesehen von bisher behandelten chemischen und physikalischen Eigenschaften auch auf ihre Ergiebigkeit erstrecken. Unter Ergiebigkeit versteht man den Wassernachschub oder Wasserdrang aus dem Grundwasserleiter zur Austrittsstelle. Die Bestimmung der Ergiebigkeit der Quelle, gleichgültig für welchen Zweck das Wasser verwendet wird, gehört zu den ersten Daten einer Quelle, die ermittelt werden müssen. Die Ergiebigkeit ist von vielen wichtigen Komponenten abhängig, wie der morphologischen Lage der Quelle mit ihrem Grundwasserspeicher (in bezug auf den hydraulischen Druck), der Klüftigkeit bzw. Durchlässigkeit (Grobkörnigkeit) des

Speichergesteins, der Größe des Einzugsgebietes und der Ergänzungsfähigkeit des Grundwasservorkommens, aus dem die Quelle gespeist wird. Für die Ergiebigkeit der Quellen gelten allgemein die folgenden Annahmen:

die großen Hohlräume im Speichergestein führen zu Schwankungen,
große Nährgebiete verhindern große Schwankungen,
große Hohlräume verursachen ein schnelles Reagieren auf Niederschläge und
gleichbleibende Temperatur und Ergiebigkeit weisen mit Sicherheit darauf hin, daß eine Quelle nicht durch den Wechsel der Jahreszeiten und die an der Oberfläche vor sich gehenden klimatischen, meteorologischen und geologischen Veränderungen berührt wird. Eine in Abhängigkeit von Sonneneinstrahlung und Kälteperioden regelmäßige Schwankung der Temperatur dagegen zeigt an, daß sich das Wasser vor dem Austritt in der Nähe des Beobachtungsortes zu nahe unter der Erdoberfläche befunden hat. Je größer solche jährlichen Schwankungen sind, desto näher muß das beobachtete Quellwasser an der Oberfläche liegen, oder vor ganz kurzer Zeit gelegen haben.

Die Quellwassertemperatur, beruhend auf Temperaturen innerhalb des Grundwasserkörpers, ist für die hydrologische Beurteilung der Güte und der Herkunft des Wassers sehr wichtig. Gutes Trinkwasser soll eine Temperatur von 7 bis 11°C aufweisen, was natürlich nur für die hiesige geographische Lage und bis zu 20 m Tiefe gilt.

Für Grundwasserneubildung, bzw. Grundwassererhaltung sind die Niederschlagsmenge und ihre Regelmäßigkeit ausschlaggebend, Veränderungen können den Schüttungsverlauf stark beeinflussen. Daneben sind auch Faktoren wie Bodenwärme (in bezug auf die Verdunstung), Vegetation (für die Erhaltung der notwendigen Bodenfeuch-

tigkeit), Einzugs- und Nährgebiete, ferner die oberflächlichen Abwasserverhältnisse für eine Dauerleistung und gleichmäßige Ergiebigkeit der Quellen sehr maßgebend.

10.3.1. Quelle bei Hohenmühle

Da, wie oben dargestellt, eine weitgehende Übereinstimmung zwischen Schüttungshöhe und Niederschlagsmenge herrscht, bedeutet das, daß man durch eine graphische Darstellung der jährlichen Niederschlagshöhe bestimmte Rückschlüsse auf die Ergiebigkeit einer guten und konstanten Quelle ziehen kann. Eine Quelle wird unter anderem dann als gut bezeichnet, wenn sie das Maximum ihres Ertrages mit einer Verspätung von mindestens sechzig Tagen nach dem Maximum des Niederschlages erreicht, ein Zeitraum, in dem das Wasser durch die Filtrierwirkung der Schichten bakteriologisch und zum Teil mineralisch weitgehend unbedenklich wird. Die Quelle von Hohenmühle bei Viereth zeigt sogar eine 2,5 bis 3,5-monatige Verzögerung und ist daher hygienisch und bakteriologisch als äußerst zuverlässig zu bezeichnen. Besonders auffällig bei dieser Quelle ist die große Regelmäßigkeit ihrer Ertragshöhe im Winter- und Sommer-Halbjahr 1974 (November 1973 bis Oktober 1974). Sie wies im gesamten Abflußjahr eine Ergiebigkeitsänderung von nur knapp drei Liter pro Sekunde im Monat auf, obwohl die entsprechende Niederschlagshöhe im gleichen Zeitraum Werte zwischen 20 und 95 mm aufwies. Die Anzeichen der höheren Niederschlagsmenge im Juli 1974 kamen erst durch die Erhöhung der Schüttungsmenge dieser Quelle im Oktober und November zum Ausdruck, was einer Verspätung von rund vier Monaten entspricht. Die Höhe der Niederschläge von Oktober bis Dezember 1974 mit 116, 53 und 113 mm hatte zur Folge, daß erst in den Monaten Januar bis

Abb. 36

Monatliche Ergiebigkeit der QUELLE bei HOHENMÜHLE, unter Berücksichtigung der jeweiligen NIEDERSCHLAGSMENGE.

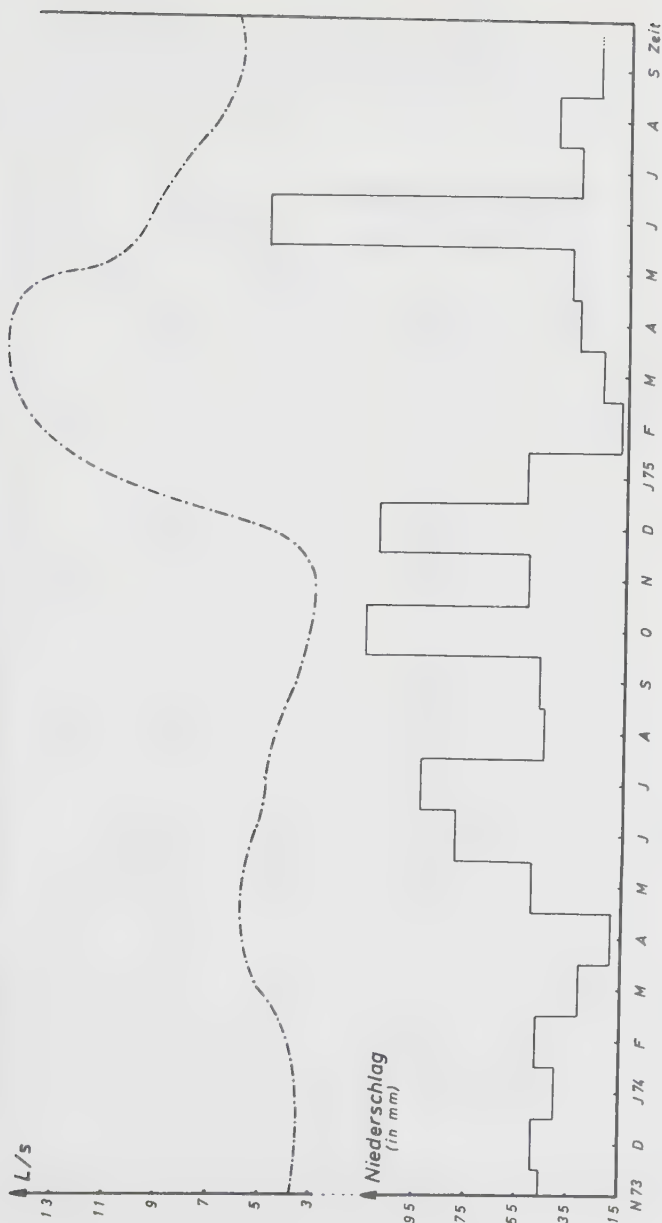


Abb. 37

Schüttungsliste der Quelle Hohenmühle bei Viereth im Winter-Halbjahr 1975 (vom 2. November 1974 bis 26. April 1975).

Beobachtungstag: samstags 13⁰⁰ Uhr.

Beobachtungs- datum	Bemerkungen	L/s	Monats- summen	Monats- mittel
02.11.1974	Regen	3,05		
09.11.1974	trocken	3,14		
16.11.1974	trocken	3,14		
23.11.1974	Regen	3,14		
30.11.1974	Regen	3,14	15,61	3,12
07.12.1974	Regen	3,33		
14.12.1974	Regen	3,92		
21.12.1974	Regen	4,58		
28.12.1974	Regen	5,79	17,62	4,41
04.01.1975	trocken	7,33		
11.01.1975	trocken	10,00		
18.01.1975	trocken	11,00		
25.01.1975	Regen	12,22	40,55	10,14
01.02.1975	Regen	12,22		
08.02.1975	Frost	13,75		
15.02.1975	trocken	13,75		
22.02.1975	trocken	13,75	53,47	13,37
01.03.1975	trocken	15,71		
08.03.1975	trocken	15,71		
15.03.1975	trocken	15,71		
22.03.1975	Regen	15,71		
29.03.1975	Regen	15,71	78,55	15,71
05.04.1975	Regen	15,71		
12.04.1975	trocken	15,71		
19.04.1975	trocken	15,71		
26.04.1975	trocken	15,71	62,84	15,71

Abb. 38

Schüttungsliste der Quelle Hohenmühle bei
Viereth im Sommer-Halbjahr 1975 (vom 3. Mai 1975
bis 25. Oktober 1975).

Beobachtungstag: samstags 13⁰⁰ Uhr.

Beobachtungs- datum	Bemerkungen	L/s	Monats- summen	Monats- mittel
03.05.1975	trocken	13,75		
10.05.1975	trocken	12,22		
17.05.1975	trocken	11,00		
24.05.1975	trocken	11,00		
31.05.1975	trocken	10,00	57,97	11,59
06.06.1975	trocken	10,00		
14.06.1975	trocken	9,17		
21.06.1975	Regen	9,17		
28.06.1975	Regen	9,17	37,51	9,38
05.07.1975	trocken	9,17		
12.07.1975	trocken	9,17		
19.07.1975	trocken	8,46		
26.07.1975	trocken	7,86	34,55	8,67
02.08.1975	trocken	7,33		
09.08.1975	trocken	7,33		
16.08.1975	trocken	6,88		
23.08.1975	trocken	6,88		
30.08.1975	trocken	6,88	35,30	7,06
06.09.1975	trocken	6,47		
13.09.1975	Regen	6,47		
20.09.1975	trocken	6,47		
27.09.1975	trocken	6,11	25,52	6,38
06.10.1975	trocken	5,79		
13.10.1975	Regen	5,50		
18.10.1975	Regen	5,24		
25.10.1975	trocken	5,00	21,53	5,38

einschließlich April 1975 die Quelle bei Hohenmühle 10,1, 13,3, 15,7 bzw. 15,7 Liter Wasser lieferte, d.h. eine gut dreimonatige Verspätung nach dem Niederschlag (vgl. Abb. 37 und 38). Diese rapide Ergiebigkeitssteigerung der Quelle während des Winter-Halbjahres 1975 im Vergleich zu der relativ konstanten Ergiebigkeit des gesamten Abflußjahres 1974 ist besonders darauf zurückzuführen, daß fast das gesamte Niederschlagswasser durch den ungefrorenen Boden versickern konnte und damit die Speichergesteine dieser Quelle übermäßig reichlich ernährt wurden. Die mittleren Temperaturwerte von Oktober bis Dezember 1974, d.h. der Monate mit den höchsten Niederschlagsmengen lagen nämlich bei 5,4, 5,2 und 4,6°C, es herrschte also kein Bodenfrost (vgl. Abb. 65 und 12.2.). Die überdurchschnittliche Schüttung der Quelle nimmt von Monat Mai bis einschließlich Oktober kontinuierlich ab und zwar von 11,5 auf 5,3 Liter im Monatsdurchschnitt. (Im Juni, Juli, August und September betrugen die Durchschnittsmengen 9,3, 8,6, 7,0 und 6,3 Liter.) Im gesamten Winter-Halbjahr 1975 wurden durch diese Quelle 268,64 und im Sommer-Halbjahr 212,49 Liter Wasser gefördert, was einem Monatsmittelwert von 10,41 bzw. 8,07 Litern entspricht. Die 158 mm hohe Niederschlagsmenge im Juni 1975 kann sich erst, wie aus Abb. 36 zu ersehen ist, nach Ende September bemerkbar machen.

10.3.2. Quelle bei Roßdach

Charakteristisch für die Quelle bei Roßdach (Blatt Scheßlitz) sind ihre hohe Ergiebigkeit und deren überdurchschnittliche Schwankungen. Binnen nur 15 Tagen nach einer starken und kurzen Niederschlagsperiode stieg der Ertrag dieser Quelle. Bei einer derart geringen Zeitverzögerung ist eine Verwendung

als Trinkwasser ohne gründliche vorherige Aufbereitung höchst bedenklich. Auffällig ist, daß die Zeitspanne zwischen dem Maximum des Niederschlags und dem Maximum der Ergiebigkeit bei dieser Quelle von 1,5 bis 2 Monaten im Winter-Halbjahr 1974 auf nur 15 Tage im Juni 1975, wo die Niederschläge zu einer sofortigen Steigerung der Ergiebigkeit führten, verkürzt wurde (vgl. Abb. 39). Der niederschlagreiche Monat Juli 1974 verursachte eine Erhöhung der Schüttungsmenge bis auf rund 75 Liter im Monatsdurchschnitt, wobei das anschließende Minimum in der zweiten Hälfte des September im ganzen den Minimumstellen der Niederschlagsdiagramme im gleichen Monat entspricht. Zu dem gemessenen Höchstwert von 163,08 Liter Wasser im Monatsdurchschnitt Dezember 1974 führten die 116 bzw. 113 mm Niederschlag im Oktober und Dezember 1974, die wegen einer Lufttemperatur von über Null Grad in Bodennähe im ungefrorenen Boden versickern konnten, um am 8.12.1974 bis zu einem Spitzenwert von 186,5 Liter zu führen (vgl. Abb. 40). Während der Monate Januar bis einschließlich Mai 1974 verringerten sich die hohen Erträge dieser Quelle kontinuierlich, bis sie endlich im Mai einen Mittelwert von nur 44,2 Liter erreichten. Die mengenmäßig kleine Erhöhung der Ergiebigkeit auf 54,10 Liter im Juni ist nur dem Niederschlagsreichtum desselben Zeitraums zu verdanken, wodurch die abfallende Ergiebigkeit im gesamten Sommer-Halbjahr 1975 bis auf 34,6 Liter im Monatsmittel von Oktober 1975, insgesamt nicht beeinflusst wird. In den gesamten Sommermonaten des Jahres 1975 (vom 4. Mai bis zum 26. Oktober) wurden insgesamt 1209,20 Liter gefördert, was im Wochendurchschnitt einem Betrag von 46,22 Liter entspricht (vgl. Abb. 41); im Gegensatz zum Winter-Halbjahr desselben Jahres, in dem fast dreimal soviel Wasser geliefert wurde. Mit einer Winter-Halbjahr-Förderung von 2909,00 Litern

Abb. 39 Monatliche Ergiebigkeit der QUELLE bei ROSSDACH, unter Berücksichtigung der NIEDERSCHLAGSMENGE.

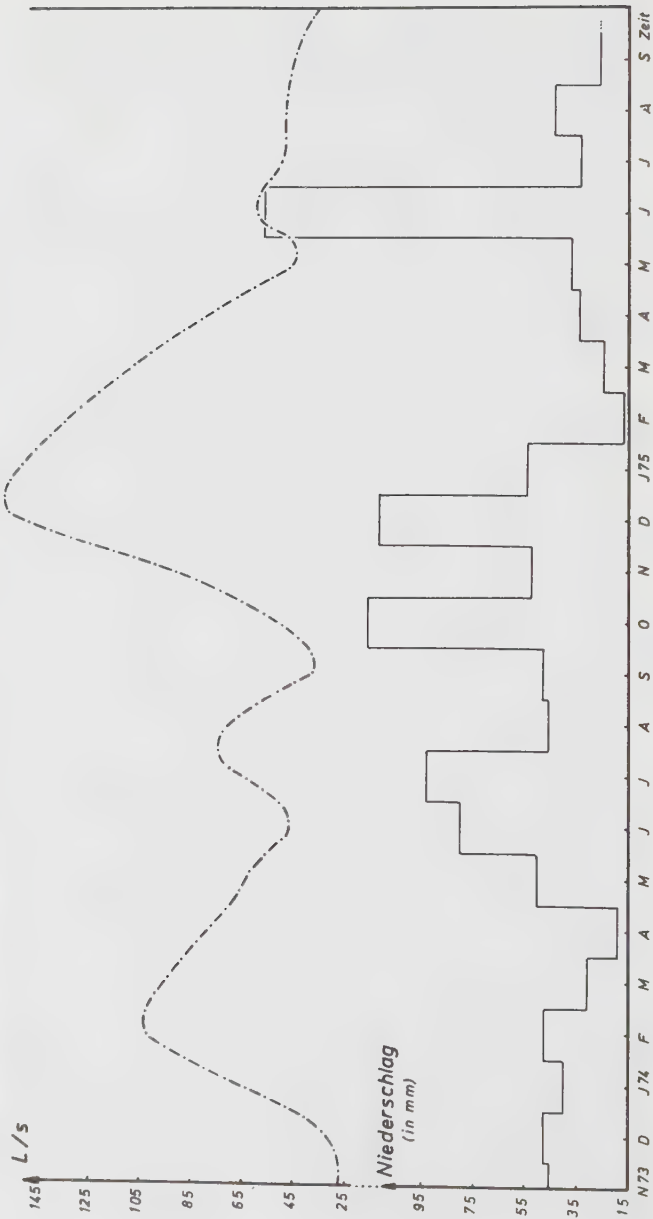


Abb. 40

Schüttungsliste der Quelle Roßdach (Oberfranken) im Winter-Halbjahr 1975 (vom 3. November 1974 bis 27. April 1975).

Beobachtungstag: sonntags 12⁰⁰ Uhr.

Beobachtungs- datum	Bemerkungen	L/s	Monats- summen	Monats- mittel
03.11.1974	Frostwetter	110,5		
10.11.1974	Frostwetter	99,8		
17.11.1974	Frostwetter	99,8		
24.11.1974	Regenwetter	110,5	420,60	105,15
01.12.1974	Regenwetter	110,5		
08.12.1974	Regenwetter	186,5		
15.12.1974	Frostwetter	172,8		
22.12.1974	Frostwetter	172,8		
29.12.1974	Regenwetter	172,8	518,40	163,08
05.01.1975	Regenwetter	172,8		
12.01.1975	Regenwetter	146,0		
19.01.1975	Regenwetter	146,0		
26.01.1975	Regenwetter	134,0	598,80	149,70
02.02.1975	Regenwetter	134,0		
09.02.1975	Regenwetter	134,0		
16.02.1975	Frostwetter	122,1		
23.02.1975	Frostwetter	122,1	512,20	128,05
02.03.1975	Frostwetter	122,1		
09.03.1975	trocken	110,5		
16.03.1975	Frostwetter	110,5		
23.03.1975	Frostwetter	99,8		
30.03.1975	Frostwetter	99,8	542,70	108,54
06.04.1975	trocken	89,0		
13.04.1975	Regenwetter	89,0		
20.04.1975	trocken	78,8		
27.04.1975	trocken	59,5	316,30	79,07

Abb. 41

Schüttungsliste der Quelle Roßdach (Oberfranken) im Sommer-Halbjahr 1975 (vom 4. Mai bis 26. Oktober 1975).

Beobachtungstag: sonntags 12⁰⁰ Uhr.

Beobachtungs- datum	Bemerkungen	L/s	Monats- summen	Monats- mittel
04.05.1975	Regenwetter	42,1		
11.05.1975	trocken	42,1		
18.05.1975	trocken	42,1		
25.05.1975	Regenwetter	50,5	176,80	44,20
01.06.1975	Regenwetter	59,5		
08.06.1975	Regenwetter	59,5		
15.06.1975	trocken	50,5		
22.06.1975	trocken	50,5		
29.06.1975	trocken	50,5	270,60	54,10
06.07.1975	trocken	50,5		
13.07.1975	trocken	50,5		
20.07.1975	trocken	50,5		
27.07.1975	trocken	50,5	202,00	50,50
03.08.1975	trocken	42,5		
10.08.1975	trocken	42,1		
17.08.1975	trocken	42,1		
24.08.1975	Regenwetter	50,5		
31.08.1975	trocken	50,5	227,70	45,47
07.09.1975	trocken	50,5		
14.09.1975	Regenwetter	50,5		
21.09.1975	trocken	50,5		
28.09.1975	trocken	42,1	193,60	48,40
05.10.1975	Regenwetter	42,1		
12.10.1975	trocken	34,5		
19.10.1975	trocken	34,5		
26.10.1975	trocken	27,5	138,60	34,65

stellt die Roßdacher Quelle eine der ertragreichsten Quellen dieses Bereiches dar, deren wöchentliche Schüttungsmengen bei 122,26 Litern liegen. Die einzelnen Monatsmittelwerte betragen von Januar bis April 1974 rund 149, 128, 108 und 79 Liter.

10.3.3. Ochsenquelle bei Wiesenthau

Die nordwestlich von Wiesenthau gelegene Ochsenquelle weist in ihrer Ergiebigkeit und deren Schwankungen wohl den unregelmäßigsten Verlauf unter allen Quellen des Gebietes auf. Zu Beginn des Winter-Halbjahres 1974 (November 1973 bis April 1974) fällt allgemein die Niederschlagsmenge ab. Demgegenüber ist in derselben Zeit eine kontinuierliche Steigerung der Schüttungsmenge zu verzeichnen (vgl. Abb. 42). Die Abnahme der Ergiebigkeit im Mai und Juni ist mit größter Sicherheit allein auf das Absinken der Niederschlagsmenge von rund 48 auf 20 mm in den Monaten Februar, März und April zurückzuführen. Die anschließende hohe Steigerungsrate des Niederschlages auf über 95 mm macht sich aber nur in einer spärlichen Erhöhung der Schüttungsmenge um wenige Zehntel Liter bemerkbar, fast genauso wenig wie das auftretende Minimum im Sommer-Halbjahr 1974 (Abb. 42). Die rasche Erhöhung der Niederschläge von rund 50 auf 116 bzw. 113 mm in den Monaten Oktober und Dezember 1974 verursachte nach einer Verzögerung von nur zwei Monaten von Dezember 1974 bis Februar 1975 eine Erhöhung des Ertrages um 0,88 Liter im November 1974 und bis zu 1,20 Liter pro Sekunde im Monatsdurchschnitt im Februar 1975, wobei, wie aus Abb. 42 und Abb. 43 zu ersehen ist, die Dezember- und Januarwerte mit 1,19 bzw. 1,18 Litern relativ konstant geblieben waren. Während der Monate März und April 1975 verringert sich die Ergiebigkeit der Ochsenquelle weiter bis auf

Abb. 42 Monatliche Ergiebigkeit der OCHSENQUELLE bei WIESENTHAU, unter Berücksichtigung der NIEDERSCHLAGSMENGE.

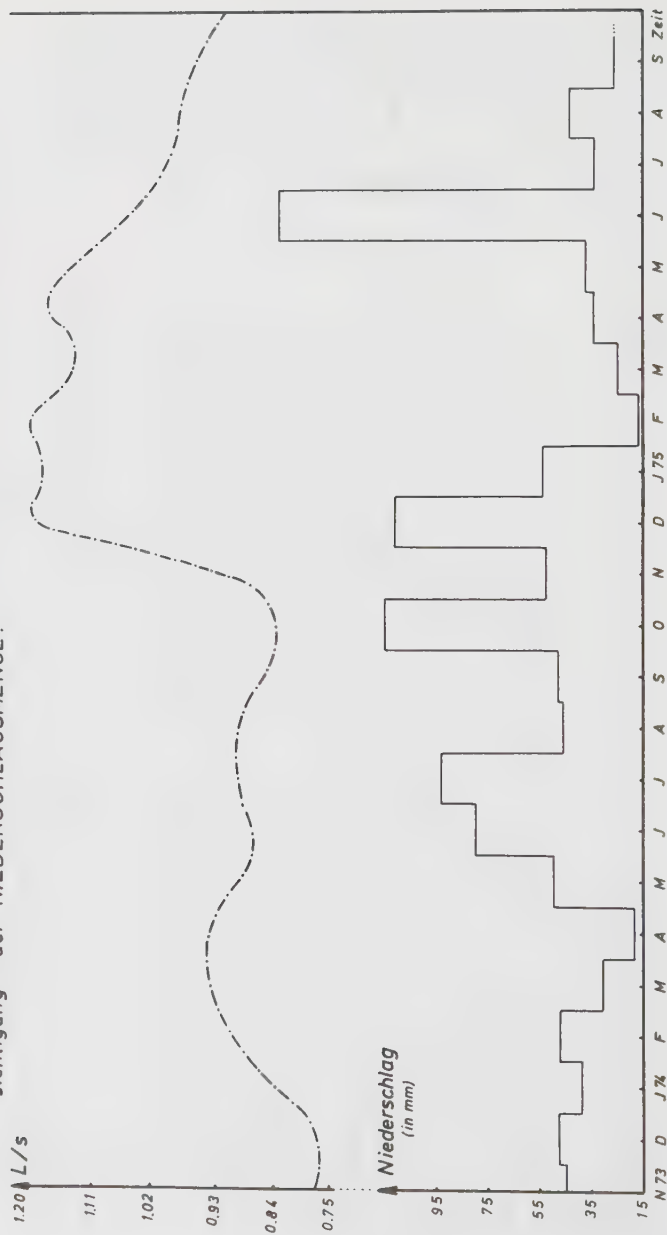


Abb. 43

Schüttungsliste der Ochsenquelle bei Wiesenthau
(Oberfranken) im Winter-Halbjahr 1975 (vom 4. November
1974 bis 28. April 1975).

Beobachtungstag: montags 8⁰⁰ Uhr.

Beobachtungs- datum	Bemerkungen	L/s	Monats- summen	Monats- mittel
04.11.1974	trocken	0,87		
11.11.1974	trocken	0,87		
18.11.1974	trocken	0,87		
25.11.1974	Regen	0,90	3,51	0,88
02.12.1974	Regen	0,89		
09.12.1974	Nebel	1,47		
16.12.1974	Nebel	1,17		
23.12.1974	Frost	1,16		
30.12.1974	trocken	1,28	5,97	1,19
06.01.1975	Regen	1,21		
13.01.1975	trocken	1,20		
20.01.1975	trocken	1,16		
27.01.1975	trocken	1,16	4,73	1,18
03.02.1975	trocken	1,29		
10.02.1975	Frost	1,20		
17.02.1975	Frost	1,16		
24.02.1975	Frost	1,15	4,80	1,20
03.03.1975	trocken	1,16		
10.03.1975	Regen	1,13		
17.03.1975	Schnee	1,11		
24.03.1975	Schnee	1,13		
31.03.1975	Schnee	1,11	5,64	1,13
07.04.1975	trocken	1,15		
14.04.1975	Nebel	1,16		
21.04.1975	trocken	1,18		
28.04.1975	trocken	1,18	4,67	1,17

Abb. 44

Schüttungsliste der Ochsenquelle bei Wiesenthau
(Oberfranken) im Sommer-Halbjaar 1975 (vom 5. Mai 1975
bis 27. Oktober 1975).

Beobachtungstag: montags 8⁰⁰ Uhr.

Beobachtungs- datum	Bemerkungen	L/s	Monats- summen	Monats- mittel
05.05.1975	trocken	1,22		
12.05.1975	trocken	1,13		
19.05.1975	trocken	1,11		
26.05.1975	trocken	1,08	4,54	1,14
02.06.1975	trocken	1,10		
09.06.1975	Regen	1,09		
16.06.1975	Regen	1,11		
23.06.1975	trocken	1,13		
30.06.1975	Regen	1,10	5,53	1,11
07.07.1975	trocken	1,11		
14.07.1975	trocken	1,09		
21.07.1975	Regen	1,05		
28.07.1975	trocken	1,02	4,27	1,07
04.08.1975	trocken	0,98		
11.08.1975	trocken	0,97		
18.08.1975	Regen	0,99		
25.08.1975	Regen	0,96	3,90	0,98
01.09.1975	trocken	0,96		
08.09.1975	trocken	0,95		
15.09.1975	Regen	0,96		
22.09.1975	trocken	0,94		
29.09.1975	trocken	0,94	4,75	0,95
06.10.1975	trocken	0,92		
13.10.1975	trocken	0,91		
20.10.1975	trocken	0,92		
27.10.1975	trocken	0,92	3,67	0,92

1,17 Liter pro Sekunde, so daß im gesamten Winter-Halbjahr eine Summe von 29,32 Litern und ein Durchschnitt von nur 1,12 Litern pro Sekunde erreicht wird (vgl. Abb. 35 und 44). Fast unberührt von den 158 mm Niederschlag des Monates Juni verliert die Schüttungskurve der Ochsenquelle kontinuierlich an Höhe und fällt (im Monatsmittel) von 1,14 auf nur 0,92 Liter pro Sekunde im Oktober 1975 ab, ähnlich wie die Niederschlagsmenge, deren Wert nun bei 26 mm liegt.

10.4. Gegenüberstellung der Wasserhärte der Lias-, Dogger- und Malmquellen

Die vorangegangenen drei Quellen waren Privatquellen, zu denen man nicht an allen Untersuchungstagen Zutritt hatte und sie deshalb nicht regelmäßig in ihrer chemischen Beschaffenheit untersuchen konnte. Ihre Wasserbeschaffenheit dürfte aber nur unwesentlich von den bisherigen Gewässern des Untersuchungsgebietes abweichen, da bei ihnen das Wasser sein Nährgebiet ähnlich wie die übrigen untersuchten quartären Quellen hauptsächlich in den Terrassenablagerungen hat. Wichtiger und interessanter ist der Vergleich der zum Teil sogar wasserreicheren Quellen im Bereich des östlichen Regnitztales, wo zahlreiche kleine und große Quellen ihre Einzugsgebiete in den Lias-, Dogger- und Malmschichten haben und deren Gewässer, wie bisher bei der Behandlung ihres chemischen Charakters dargestellt wurde, von verschiedener Natur und Herkunft sind.

Repräsentativ für alle Quellen des östlichen Gebietes werden die Meßdaten der drei Quellen von Seigendorf (47), Tiefenstürmig (28) und Zeegendorf (54) mit ihren Speicherstätten in den Lias-, Dogger- und Malm-Ablagerungen einander gegenübergestellt. Da eine konstante Temperatur des Quellwassers ein wichtiges Indiz

dafür ist, daß das Wasser sich nicht in Oberflächen-nähe bewegt bzw. weniger stark von den oberirdischen Einflüssen in Mitleidenschaft gezogen wird, wurden die drei Quellen mit den geringsten Temperaturschwankungen miteinander verglichen. Außerdem wurden, da unter allen gelösten Stoffen die Konzentration von Calcium- und Magnesium-Ionen, prozentual berechnet, am höchsten liegt, die Quellen nach ihrem Härtegrad (beruhend auf Ca- und Mg-Ionenkonzentration) als Bezugsfaktor ihrer Vergleichbarkeit untereinander ausgewählt.

Auffällig bei dem Härtevergleich sind, wie zu erwarten war, die völlig unterschiedlichen Härtegrade zwischen Lias- einerseits und Dogger- und Malm-Härte andererseits. Während die Lias-Quelle eine Gesamthärte von $48,5 \text{ dH}^\circ$ im Jahresdurchschnitt aufweist, liegen die Dogger- und Malmquellen mit ihren $16,6$ und $17,5 \text{ dH}^\circ$ relativ niedrig. Eine extrem hohe Gesamthärte von $61,6 \text{ dH}^\circ$ wurde bei Seigendorf im Mai 1974 gemessen, was den absolut höchsten Wert unter allen Härtegraden des Gebietes bedeutet.

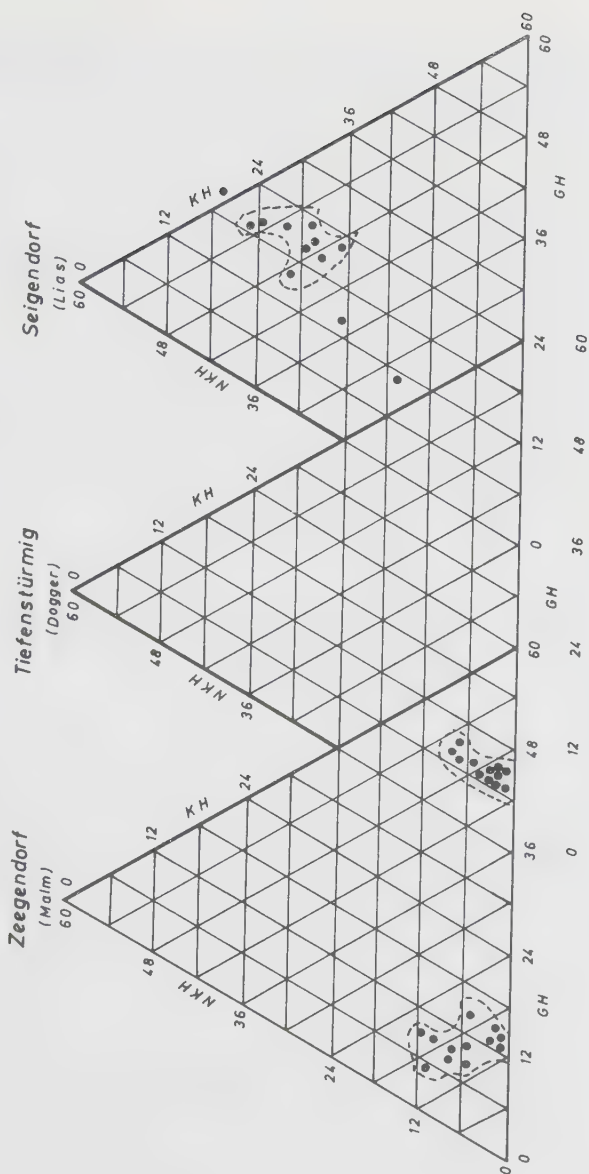
Ebenfalls unter den Quellen mit hoher Nichtkarbonat-härte tritt die Lias-Quelle mit großen Abstand an erste Stelle, und zwar mit einem Durchschnittswert von $29,5$ und einem Maximalwert von $41,0 \text{ dH}^\circ$. Mit Werten von $4,3$ bzw. $5,2$ sind die Dogger- und Malmwässer wieder unvergleichbar niedriger einzustufen.

Die Karbonathärte ist dagegen bei der Lias-Quelle nicht übermäßig hoch, sie erreicht im Jahresdurchschnitt nur $19,0 \text{ dH}^\circ$ gegenüber $13,2$ und $11,4 \text{ dH}^\circ$ bei Tiefenstürmig und Zeegendorf. Der absolute Wert liegt im Lias bei rund $23,7$, während im Dogger mit $14,0$ und im Malm mit $14,7 \text{ dH}^\circ$ fast gleich hohe Werte gemessen wurden.

Interessant ist die Konzentration der Härtewerte der drei Quellen in den dargestellten Drei-Achsen-Diagrammen in Abb. 45. Die Werte der Seigendorfer Quelle liegen

Abb. 45

Gegenüberstellung der Wasserproben aus den drei LIAS-, DOGGER- und MALM-QUELLEN des östlichen Regnitztales in bezug auf ihren HÄRTEGRAD.



eindeutig höher und sind weiter verstreut. Einen gewissen konzentrierten Bereich zeigt diese Quelle im allgemeinen für die Gesamthärte mit etwa 52 dH[°], die Karbonathärte mit ca. 20 dH[°] und die Nichtkarbonathärte mit ungefähr 29 dH[°]. Eine stärkere Konzentration des Härtebereichs zeigt die Doggerquelle, die einen durchschnittlichen Gesamthärtewert von 11,5 dH[°], eine Karbonathärte von rund 8,0 dH[°] und eine Nichtkarbonathärte von etwa 4,0 dH[°] aufweist.

Der Härtebereich des Malmwassers liegt auch hier mit deutlicher Abgrenzung in der Zone mit niedrigeren Daten: ein Gesamthärtebereich von 17 bis 18 dH[°] steht einem Karbonathärtewert von 8 bis 10 dH[°] und einem Nichtkarbonathärtegrad von 5 bis 8 gegenüber. Die genauen Daten sind ausführlich Tab. 74, 93 und 100 zu entnehmen.

11. Grundwasser

11.1. Wasserführung in den porigen Grundwasserleitern der fluviatilen Sedimente

Grundwasser verdankt seine Entstehung, wie in Kap. 10.1. kurz besprochen, im großen und ganzen den gleichen Faktoren wie die Quellen: im wesentlichen atmosphärischen Niederschlägen wie Regen, Schnee usw. und deren Eindringen in einen sog. Grundwasserleiter, dessen untere Grenzfläche von einer undurchlässigen Grundwassersohle begrenzt wird. Das Grundwasser befindet sich hauptsächlich in lockeren und losen quaritären Ablagerungen von gleichmäßiger, annähernd dem Jahresmittel entsprechender Temperatur, solange es nicht durch äußere, oberirdische Eingriffe beeinflusst wird. Nach einer unterirdischen Bewegung, die sich von wenigen Tagen über Monate oder gar Jahre erstrecken kann, tritt das Wasser als eine mehr oder weniger er-

giebige Quelle aus. Da das Grundwasser sich also im Gegensatz zu den Brunnen oder Quellen nicht unmittelbar beobachten und verfolgen läßt, sind die ermittelten Zahlen oder Aussagen über Verlauf, Ergiebigkeit, Fließgeschwindigkeit usw. nur relativ, bzw. von einem hohen Unsicherheitsgrad begleitet. Auch durch praktische Verfahren wie z.B. durch regelmäßige Messungen an Versuchsbrunnen lassen sich absolut keine sicheren Zahlenwerte über die Ergiebigkeit des Grundwassers gewinnen. Der Grund liegt naturgemäß wesentlich in der Ungleichförmigkeit des Wasserleiters, in der Veränderlichkeit des Porenvolumens, der Korngröße und in dem dadurch bewirkten häufigen Wechsel des Gefälles und der Strömungsgeschwindigkeit des Wassers.

Die Ergiebigkeit eines Grundwasserstromes, d.h. die Wassermenge, die ihm dauernd entzogen werden kann, ist abhängig von dem wasserführenden Querschnitt, dem Gefälle und der Fließgeschwindigkeit des Wassers. Die Bewegungsgeschwindigkeit des Grundwassers hängt von der Porosität und Permeabilität des Grundwasserleiters ab. In Sanden legt das Grundwasser z.B. 1 bis 4 m am Tag zurück, in Kies 6 bis 9 m, in Talschotter gar bis zu 15 m. Die Neigung des Grundwasserleiters spielt auch bei der Ergiebigkeit, bzw. bei der Fließgeschwindigkeit des Grundwassers eine beachtliche Rolle, da z.B. bei einem 7%-igen Gefälle das Wasser 8 m pro Tag, bei 0,5%-iger Neigung aber nur 4 bis 6 m fließt.

Der Grundwasserstand ist natürlichen Schwankungen unterworfen, die jahreszeitlich oder durch Klimaveränderungen bedingt sind. Die jahreszeitlichen Grundwasserschwankungen folgen erst in Abständen von mehreren Wochen den Schwankungen in den Niederschlägen. Häufig werden Absenkungen des Grundwasserstandes durch menschliche Eingriffe wie z.B. durch Bergbau, großflächige Abholzungen, Flußregulierungen usw. hervorge-

rufen.

11.2. Abhängigkeit des Grundwassers vom Niederschlag

11.2.1. Grundwasserstand im Raum Bamberg

Zur regelmäßigen Messung des Grundwasserstandes und seiner Schwankungen sind viele Versuchsbohrungen im gesamten Untersuchungsgebiet, hauptsächlich aber in den Regnitzterrassen vor allem im Raum Bamberg angelegt worden (vgl. Abb. 14).

Die einzige direkt in der Main-Terrasse und weit außerhalb des Untersuchungsgebietes abgeteufte Bohrgruppe sind die drei Brunnen I, II und IV bei Rattelsdorf, rund 13,2 km nördlich von Bamberg, die ausschließlich für die Grundwassermessung benützt werden. Während der beiden Abflußjahre 1973-74 und 1974-75 wiesen die Brunnen I und IV einen Wasserstand von durchschnittlich 4,3 m unterhalb des Meßpunktes auf. Der Grundwasserstand bei Brunnen Nr. II lag bei ca. 0,90 m, teilweise sogar noch tiefer (vgl. Abb. 46, 47, 48). Die jährlichen Schwankungen des Brunnen Rattelsdorf II, also desjenigen mit dem niedrigsten Wasserstand, wurde graphisch in Abb. 55 veranschaulicht. Der November mit seiner niedrigsten Niederschlagsmenge von nur 53 mm verursachte eine Erhöhung des Grundwasserspiegels auf 5,29 m unter dem Meßpunkt, während die Steigerung der Niederschlagsmenge in den Monaten Oktober mit 116 und Dezember 1974 mit 113 mm eine fast sofortige Wirkung auf das Grundwasser hatte, so daß nun der Grundwasserstand 4,87 bzw. 3,28 m unterhalb der Erdoberfläche lag (vgl. auch Kap. 12.2. und Abb. 64b). Trotz eines leichten Anstiegs der Niederschlagsmenge in den Frühlings- und Sommermonaten senkte sich der Grundwasserspiegel kontinuierlich auf 5,82 m unterhalb des Meßpunktes, und

Abb. 46

Grundwasserstand und Grundwassermeßwerte für die
Abflußjahre 1973-74 und 1974-75

Meßstation : Rattelsdorf I

MP = Meßpunkthöhe : 245,91 m üNN

mittl. Geländehöhe : 244,73 m üNN

Meßdatum	Wasserstand unter MP (in m)	GW-Sp. üNN (in m)	Meßdatum	Wasserstand unter MP (in m)	GW-Sp. üNN (in m)
----------	-----------------------------------	-------------------------	----------	-----------------------------------	-------------------------

Winter-Halbjahr 1974:

26.11.73	5,28	240,63
31.12.73	5,05	240,86
28.01.74	4,71	241,20
25.02.74	4,29	241,62
25.03.74	4,41	241,50

Winter-Halbjahr 1975:

26.11.74	5,00	240,91
30.12.74	3,47	242,44
27.01.75	3,48	242,43
24.02.75	3,75	242,16
24.03.75	4,18	241,73

Sommer-Halbjahr 1974:

27.05.74	4,83	241,08
24.06.74	4,93	240,98
29.07.74	5,01	240,90
26.08.74	5,09	240,82
30.09.74	5,19	240,72
28.10.74	5,16	240,75

Sommer-Halbjahr 1975:

26.05.75	4,47	241,44
30.06.75	4,73	241,18
28.07.75	4,88	241,03
28.08.75	5,00	240,91
29.09.75	5,12	240,79
27.10.75	5,20	240,71

Durchschnitt für das Winter-Halbjahr 1974: 241,17

" " " Sommer-Halbjahr 1974: 240,87

" " " Abflußjahr 1973-74: 241,02

Durchschnitt für das Winter-Halbjahr 1975: 241,92

" " " Sommer-Halbjahr 1975: 241,01

" " " Abflußjahr 1974-75: 241,46

Abb. 47

Grundwasserstand und Grundwassermeßwerte für die
Abflußjahre 1973-74 und 1974-75

Meßstation : Rattelsdorf II

MP = Meßpunkthöhe : 245,68 m üNN

mittl. Geländehöhe : 244,70 m üNN

Meßdatum	Wasserstand unter MP (in m)	GW-Sp. üNN (in m)	Meßdatum	Wasserstand unter MP (in m)	GW-Sp. üNN (in m)
----------	-----------------------------------	-------------------------	----------	-----------------------------------	-------------------------

Winter-Halbjahr 1974:

26.11.73	5,68	240,00
31.12.73	5,44	240,24
28.01.74	4,70	240,98
25.02.74	4,95	240,73
25.03.74	5,05	240,63
29.04.74	5,46	240,22

Winter-Halbjahr 1975:

26.11.74	5,29	240,39
30.12.74	3,28	242,40
27.01.75	4,82	240,86
24.02.75	4,86	240,82
24.03.75	5,11	240,57
28.04.75	4,92	240,76

Sommer-Halbjahr 1974:

27.05.74	5,58	240,10
24.06.74	5,59	240,09
29.07.74	5,52	240,16
26.08.74	5,69	239,99
30.09.74	5,82	239,86
28.10.74	4,87	240,81

Sommer-Halbjahr 1975:

26.05.75	5,30	240,30
30.06.75	5,42	240,26
25.07.75	5,60	240,08
25.08.75	5,69	239,99
29.09.75	5,78	239,90
27.10.75	5,82	239,86

Durchschnitt für das Winter-Halbjahr 1974: 240,46

" " " Sommer-Halbjahr 1974: 240,16

" " " Abflußjahr 1973-74: 240,31

Durchschnitt für das Winter-Halbjahr 1975: 240,96

" " " Sommer-Halbjahr 1975: 240,07

" " " Abflußjahr 1974-75: 240,51

Abb. 48

Grundwasserstand und Grundwassermeßwerte für die
Abflußjahre 1973-74 und 1974-75

Meßstation : Rattelsdorf IV

MP = Meßpunkthöhe : 246,26 m üNN

mittl. Geländehöhe : 245,24 m üNN

Meßdatum	Wasserstand unter MP (in m)	GW-Sp. üNN (in m)	Meßdatum	Wasserstand unter MP (in m)	GW-Sp. üNN (in m)
----------	-----------------------------------	-------------------------	----------	-----------------------------------	-------------------------

Winter-Halbjahr 1974:

26.11.73	4,89	241,37
31.12.73	4,83	241,43
28.01.74	4,62	241,64
25.02.74	4,18	242,08
25.03.74	3,99	242,27
29.04.74	4,14	242,12

Winter-Halbjahr 1975:

26.11.74	4,72	241,54
30.12.74		
27.01.75	2,77	243,49
24.02.75	3,07	243,19
24.03.75	3,53	242,73
28.04.75	3,56	242,70

Sommer-Halbjahr 1974:

27.05.74	4,31	241,95
24.06.74	4,43	241,83
29.07.74	4,55	241,71
28.08.74	4,62	241,64
23.09.74	4,71	241,55
28.10.74	4,78	241,48

Sommer-Halbjahr 1975:

26.05.75	3,81	242,45
30.06.75	4,12	242,14
28.07.75	4,32	241,94
25.08.75	4,46	241,80
29.09.75	4,62	241,64
27.10.75	4,74	241,52

Durchschnitt für das Winter-Halbjahr 1974: 241,81

" " " Sommer-Halbjahr 1974: 241,69

" " " Abflußjahr 1973-74: 241,75

Durchschnitt für das Winter-Halbjahr 1975: 242,73

" " " Sommer-Halbjahr 1975: 241,91

" " " Abflußjahr 1974-75: 242,32

zwar als Folge des erhöhten Verbrauches bzw. der stärkeren Verdunstung und anderer vorher genannter Ursachen. Die jährliche Schwankungsbreite der Brunnen Rattelsdorf I, II und IV beträgt 1,73 m, 2,54 m und 2,01 m.

Der westlich von Bamberg angelegte Versuchsbrunnen bei Gaustadt zeigt wegen seiner geographischen Lage die stärksten Grundwasserschwankungen von 2,34 m im Jahr und weist zugleich den niedrigsten Grundwasserspiegel auf. Der Einfluß der Niederschläge ist auf diesen Brunnen, besonders wegen seiner porigen Speicherstätte, d.h. des Schottermaterials der Regnitz-Terrasse, sehr hoch. Nach dem niederschlagsreichen Monat Dezember 1974 stieg das Grundwasser an dieser Meßstation bis auf 4,13 m unter die Erdoberfläche an, was den absolut niedrigsten Wert darstellte (vgl. Abb. 55). Die Abnahme der Niederschlagstätigkeit verursachte wieder eine Absenkung des Grundwassers bis zu einem Wert von 5,47 m unter den Meßpunkt im Monat April 1975 (vgl. auch Abb. 49). Der niederschlagsreiche Monat Juni 1975 mit 158 mm Regen kann sich wegen des starken Wasserverbrauches der nahegelegenen Städte Bamberg und Gaustadt nicht wesentlich im Grundwasser bemerkbar machen, so daß eine weitere Absenkung des Grundwasserstandes besonders in den Monaten August, September und Oktober 1975 bis auf Meßwerte von 6,04 m, 6,31 m und 6,47 m unterhalb der Erdoberfläche auftreten konnte. Durchschnittlich lag der Grundwasserspiegel im Abflußjahr 1974 (November 1973 bis Oktober 1974) bei 6,28 m; nach dem niederschlagsreichen Abflußjahr 1975 folgte eine Erhöhung bis auf 5,49 m unter dem Meßpunkt.

Der südlich von Dörfleins direkt in der Main-Terrasse gelegene Versuchsbrunnen zeigt wegen seines

Abb. 49

Grundwasserstand und Grundwassermeßwerte für die
Abflußjahre 1973-74 und 1974-75

Meßstation : Gaustadt
MP = Meßpunkthöhe : 248,17 m üNN
mittl. Geländehöhe : 248,15 m üNN

Meßdatum	Wasserstand unter MP (in m)	GW-Sp. üNN (in m)	Meßdatum	Wasserstand unter MP (in m)	GW-Sp. üNN (in m)
----------	-----------------------------------	-------------------------	----------	-----------------------------------	-------------------------

Winter-Halbjahr 1974:

26.11.73	6,61	241,56
31.12.73	6,41	241,76
28.01.74	6,10	242,07
25.02.74	5,82	242,35
25.03.74	5,94	242,23
29.04.74	6,47	241,70

Winter-Halbjahr 1975:

26.11.74	6,04	242,13
30.12.74	4,13	244,04
27.01.75	4,71	243,46
24.02.75	4,80	243,37
24.03.75	5,67	242,50
28.04.75	5,47	242,70

Sommer-Halbjahr 1974:

27.05.74	6,41	241,76
24.06.74	6,33	241,84
29.07.74	6,13	242,04
26.08.74	6,24	241,93
30.09.74	6,53	241,63
28.10.74	6,33	241,84

Sommer-Halbjahr 1975:

26.05.75	5,37	242,80
30.06.75	5,38	242,79
28.07.75	5,46	242,71
25.08.75	6,03	242,13
29.09.75	6,31	241,86
27.10.75	6,47	241,70

Durchschnitt für das Winter-Halbjahr 1974: 241,94

" " " Sommer-Halbjahr 1974: 241,84

" " " Abflußjahr 1973-74: 241,89

Durchschnitt für das Winter-Halbjahr 1975: 243,03

" " " Sommer-Halbjahr 1975: 242,33

" " " Abflußjahr 1974-75: 242,68

Abb. 50

Grundwasserstand und Grundwassermeßwerte für die
Abflußjahre 1973-74 und 1974-75

Meßstation : Dörfleins
MP = Meßpunkthöhe : 239,28 m üNN
mittl. Geländehöhe : 238,26 m üNN

Meßdatum	Wasserstand unter MP (in m)	GW-Sp. üNN (in m)	Meßdatum	Wasserstand unter MP (in m)	GW-Sp. üNN (in m)
Winter-Halbjahr 1974:			Winter-Halbjahr 1975:		
26.11.73	3,34	235,94	26.11.74	3,26	236,02
31.12.73	3,28	236,00	30.12.74	2,73	236,55
28.01.74	3,21	236,07	27.01.75	2,79	236,49
25.02.74	3,14	236,14	24.02.75	2,90	236,38
25.03.74	3,18	236,10	24.03.75	3,04	236,24
29.04.74	3,34	235,94	28.04.75	3,16	236,12
Sommer-Halbjahr 1974:			Sommer-Halbjahr 1975:		
27.05.74	3,57	235,71	26.05.75	3,44	235,84
24.06.74	3,33	235,95	30.06.75	3,20	236,08
29.07.74	3,29	235,99	28.07.75	3,25	236,03
26.08.74	3,33	235,95	25.08.75	3,25	236,03
30.09.74	3,43	235,85	29.09.75	3,36	235,92
28.10.74	3,24	236,04	27.10.75	3,45	235,83
Durchschnitt für das Winter-Halbjahr 1974: 236,03					
"	"	"	Sommer-Halbjahr 1974: 235,91		
"	"	"	Abflußjahr 1973-74: 235,97		
Durchschnitt für das Winter-Halbjahr 1975: 236,30					
"	"	"	Sommer-Halbjahr 1975: 235,95		
"	"	"	Abflußjahr 1974-75: 236,12		

lockeren und porigen Speichergesteins einen relativ hohen Grundwasserspiegel von durchschnittlich 3,31 m im Abflußjahr 1973-74 und nur 3,16 m im Abflußjahr 1974-75, er ist also im ganzen Jahr betrachtet keiner großen Schwankung unterworfen (vgl. Abb. 50 und Abb. 55). Die Schwankungsbreite des Grundwassers an dieser Stelle beträgt nur 0,72 m im gesamten Untersuchungs-jahr. Die geringeren Niederschläge im November 1975 verursachten nur eine geringfügige Erhöhung des Grundwassermeßwertes auf 3,26 m, der nicht wesentlich erstens vom Jahresmittelwert und zweitens vom maximalen Betrag von 3,45 m (27.10.75) abweicht. Auch die 158 mm Niederschlag im Juni führten zu keiner großen Überraschung, da mit 3,20 m keine große Abweichung vom Jahresmittelwert 3,16 m erzielt wurde. Dazu ist zu bemerken, daß der Jahresmittelwert zugleich gegenüber dem höchsten Wasserstand im November 1974 nur noch einen unbedeutenden Unterschied von 0,06 m aufweist. Die ansonsten niederschlagsarmen Sommermonate des Jahres 1975 änderten an dem konstanten Verlauf des Grundwasserstandes nichts Wesentliches.

Der 4,5 km westlich von Dörfleins gelegene Versuchsbrunnen bei Oberhaid bezieht sein Wasser, ähnlich wie der Brunnen bei Unterhaid direkt aus den quartären Ablagerungen der Main-Terrasse, die hier allein als das breite und ausgedehnte Nährgebiet des Grundwassers von Oberhaid betrachtet wird (vgl. Abb. 14). Mit 4,34 m durchschnittlicher Lage im Abflußjahr 1974-75 liegt der Grundwasserspiegel an dieser Stelle eindeutig näher an der Erdoberfläche als bei Unterhaid, wo er 5,34 m unterhalb des Meßpunktes zu erreichen ist. Im Abflußjahr 1973-74 lag der Grundwasserspiegel der Meßstation Oberhaid mit 4,90 m sogar noch 1,16 m höher als bei Meßstation Unterhaid, obwohl die beiden Stellen fast parallelverlaufende

Abb. 51

Grundwasserstand und Grundwassermeßwerte für die
Abflußjahre 1973-74 und 1974-75

Meßstation : Oberhaid
MP = Meßpunkthöhe : 237,69 m üNN
mittl. Geländehöhe : 237,66 m ü NN

Meßdatum	Wasserstand unter MP (in m)	GW-Sp. üNN (in m)	Meßdatum	Wasserstand unter MP (in m)	GW-Sp. üNN (in m)
Winter-Halbjahr 1974:			Winter-Halbjahr 1975:		
26.11.73	4,83	232,86	26.11.74	4,85	232,84
31.12.73	4,93	232,76	30.12.74	3,54	234,15
26.01.74	4,85	232,84	27.01.75	3,55	234,14
25.02.74	4,61	233,08	24.02.75	3,57	234,12
25.03.74	4,63	233,06	24.03.75	3,89	233,80
29.04.74	4,94	232,75	28.04.75	3,98	233,71
Sommer-Halbjahr 1974:			Sommer-Halbjahr 1975:		
27.05.74	4,58	233,11	26.05.75	4,25	233,44
24.06.74	5,01	232,68	30.06.75	4,36	233,33
29.07.74	4,99	232,70	28.07.75	4,75	232,94
26.08.74	5,09	232,60	25.08.75	4,92	232,77
30.09.74	5,25	232,44	29.09.75	5,12	232,57
26.10.74	5,04	232,65	27.10.75	5,21	232,48
Durchschnitt für das Winter-Halbjahr 1974: 232,89					
"	"	"	Sommer-Halbjahr 1974: 232,69		
"	"	"	Abflußjahr 1973-74: 232,79		
Durchschnitt für das Winter-Halbjahr 1975: 233,79					
"	"	"	Sommer-Halbjahr 1975: 232,92		
"	"	"	Abflußjahr 1974-75: 233,35		

Grundwasserhöhen aufwiesen, was aus Abb. 55 deutlich ersichtlich ist. Nach dem niederschlagsarmen Spätsommer 1974 erreichte das Grundwasser bei Oberhaid einen Stand von 5,04 m, während der Grundwasserspiegel bei Unterhaid noch tiefer, und zwar 6,22 m unter dem Meßpunkt zu finden war (vgl. Abb. 51 und 52). Der niederschlagsarme Monat November 1974 spielte, wie auch aus Abb. 55 zu ersehen ist, keine oder eine nur sehr untergeordnete Rolle. Dagegen ist zu beachten, daß der niederschlagsreiche Monat Dezember mit 113 mm den Grundwasserspiegel bei Oberhaid sofort bis auf 3,54 m ansteigen ließ, während die Änderungen bei dem Versuchsbrunnen in Unterhaid erst zwei Monate später, d.h. im Februar 1975 mit 4,43 m registriert werden konnte. Die Absenkung des Grundwasserspiegels schon ab Februar ist dann unaufhaltsam in den ganzen restlichen Monaten des Untersuchungsjahres zu beobachten und wurde nur von den Niederschlägen im Juni zeitweise und in geringem Maße behindert. Der Einfluß des Niederschlagswassers wurde im Brunnen bei Oberhaid in demselben Monat und bei Unterhaid etwa zwei Monate später kurzzeitig beobachtet, als die Grundwasserabsenkungen in beiden Brunnen sich etwas verlangsamten, aber nicht unterbrochen wurden. Allgemein betrachtet, reagierte das Grundwasser bei Oberhaid auf Niederschläge sofort und schnell, während die äußeren Einflüsse bei den Versuchsbrunnen in Unterhaid sich erst nach 30 Tagen und zum Teil noch später bemerkbar machten. Die Brunnen bei Ober- und Unterhaid weisen im großen und ganzen eine Schwankungsbreite von relativ hohen Werten um 1,67 bzw. 1,79 m pro Jahr auf.

Im Gegensatz dazu zeigt der Versuchsbrunnen bei Hallstadt eine ausgesprochen gleichmäßige Absenkung, bzw. Erhöhung des Wasserstandes in einem Intervall

Abb. 52

Grundwasserstand und Grundwassermeßwerte für die
Abflußjahre 1973-74 und 1974-75

Meßstation : Unterhaid
MP = Meßpunkthöhe : 235,23 m üNN
mittl. Geländehöhe : 234,53 m üNN

Meßdatum	Wasserstand unter MP (in m)	GW-Sp. üNN (in m)	Meßdatum	Wasserstand unter MP (in m)	GW-Sp. üNN (in m)
Winter-Halbjahr 1974:			Winter-Halbjahr 1975:		
26.11.73	6,10	229,13	26.11.74	6,14	229,09
31.12.73	6,17	229,06	30.12.74	5,35	229,88
28.01.74	6,16	229,07	27.01.75	4,73	230,50
26.02.74	6,06	229,17	24.02.75	4,43	230,80
25.03.74	5,93	229,30	24.03.75	4,45	230,78
29.04.74	5,86	229,37	28.04.75	4,69	230,54
Sommer-Halbjahr 1974:			Sommer-Halbjahr 1975:		
27.05.74	5,90	229,33	26.05.75	4,97	230,26
24.06.74	5,90	229,27	30.06.75	5,39	229,84
29.07.74	6,03	229,20	28.07.75	5,69	229,54
26.08.74	6,10	229,13	25.08.75	5,90	229,33
30.09.74	6,21	229,02	29.09.75	6,05	229,18
28.10.74	6,22	229,01	27.10.75	6,19	229,04
Durchschnitt für das Winter-Halbjahr 1974: 229,18					
"	"	"	Sommer-Halbjahr 1974: 229,16		
"	"	"	Abflußjahr 1973-74: 229,17		
Durchschnitt für das Winter-Halbjahr 1975: 230,26					
"	"	"	Sommer-Halbjahr 1975: 229,53		
"	"	"	Abflußjahr 1974-75: 229,89		

von 1,03 m. Während die Niederschlagsmenge im Dezember 1974 ziemlich rasch ihren Einfluß auf das Grundwasser finden konnte, machte sich die Regenmasse im Juni zwar sehr langsam, aber doch bemerkbar (vgl. Abb. 55). Der Brunnen liegt südlich von Hallstadt auf der Main-Terrasse, wo die lockere Gesteinsmasse der quartären Ablagerung das ausgedehnteste, mehrere Kilometer weite Nährgebiet unter allen untersuchten Brunnen bildet und dadurch den höchsten Wasserstand mit nur 2,31 m unterhalb des Meßpunktes im Abflußjahr 1974-75 verursachte. Im Sommer- und Winter-Halbjahr 1973-74 wurde der Grundwasserspiegel bei 2,90 m bzw. 2,27 m unterhalb der Erdoberfläche gemessen (vgl. Abb. 53). Im Dezember 1974, wo die Niederschlagsmenge 113 mm ausmachte, wurde der absolut niedrigste Wasserstand mit nur 1,88 m gemessen, der sich dann im Laufe der Sommermonate allmählich bis auf 2,86 m im Oktober 1975 steigern konnte. Charakteristisch für diesen Brunnen sind sein hoher Wasserstand und seine sehr niedrige Schwankungsbreite in den gesamten Sommer- und Wintermonaten.

Mit nur 0,41 m in einem Jahr weist der Brunnen bei Bischberg die geringste Schwankungsbreite im gesamten Untersuchungsgebiet auf. Während der neun Monate eines Jahres zeigte dieser Versuchsbrunnen einen fast konstanten Grundwasserstand, der nur von 2,96 m im Januar auf 3,09 m im Oktober anstieg (vgl. Abb. 54). Diese Stabilität der Grundwasserlinie wurde nur kurzzeitig durch die Niederschläge des Monats Dezember 1974 mit einer Schwankung bis auf 2,67 m gestört, wobei dann wieder rasch der Wert von Oktober 1974, (2,93 m) erreicht wurde. Die hohe Niederschlagsmenge von 153 mm im Juni 1975 hatte, wie aus Abb. 55 zu ersehen ist, keinen Einfluß auf die Grundwasserlinie dieser Meßstation. Es ist daher anzunehmen,

Abb. 53

Grundwasserstand und Grundwassermeßwerte für die
Abflußjahre 1973-74 und 1974-75

Meßstation : Hallstadt
MP = Meßpunkthöhe : 236,78 m üNN
mittl. Geländehöhe : 236,44 m üNN

Meßdatum	Wasserstand unter MP (in m)	GW-Sp. üNN (in m)	Meßdatum	Wasserstand unter MP (in m)	GW-Sp. üNN (in m)
Winter-Halbjahr 1974:			Winter-Halbjahr 1975:		
26.11.73	2,60	234,18	26.11.74	2,60	234,18
31.12.73	2,38	234,40	30.12.74	1,88	234,90
28.01.74	2,22	234,56	27.01.75	2,92	234,86
25.02.74	2,09	234,69	24.02.75	2,00	234,78
25.03.74	2,14	234,64	28.04.75	2,19	234,59
Sommer-Halbjahr 1974:			Sommer-Halbjahr 1975:		
27.05.74	2,94	233,84	26.05.75	2,25	234,53
24.06.74	2,94	233,84	30.06.75	2,26	234,52
29.07.74	2,94	233,84	28.07.75	2,35	234,43
26.08.74	2,76	234,02	25.08.75	2,49	234,29
30.09.74	2,88	233,90	29.09.75	2,66	234,12
28.10.74	2,91	233,87	27.10.75	2,86	233,92
Durchschnitt für das Winter-Halbjahr 1974:			234,49		
"	"	"	Sommer-Halbjahr 1974: 233,88		
"	"	"	Abflußjahr 1973-74: 234,18		
Durchschnitt für das Winter-Halbjahr 1975:			234,65		
"	"	"	Sommer-Halbjahr 1975: 234,30		
"	"	"	Abflußjahr 1974-75: 234,47		

daß das eigentliche Nährgebiet dieses Versuchsbrunnen nicht, bzw. nur in sehr geringem Maße von den äußeren Faktoren, wie Regen, Schnee usw. abhängt, sondern viel mehr von dem unweit vom Brunnen fließenden Main, dessen Wasser im wesentlichen den Grundwasserstand dieses Brunnen bestimmt. Der Grundwasserspiegel lag hier während des Abflußjahres 1974-75 durchschnittlich bei 3,01 m unter dem Meßpunkt und damit nur um 0,02 m höher als der Durchschnittswert für das Abflußjahr 1973-74. Diese beiden Werte zeigen deutlich eine langfristige Stabilität um die Meßstelle Bischberg, wie sie hier als praktisch einziger Stelle im Untersuchungsgebiet beobachtet wurde.

Abb. 54

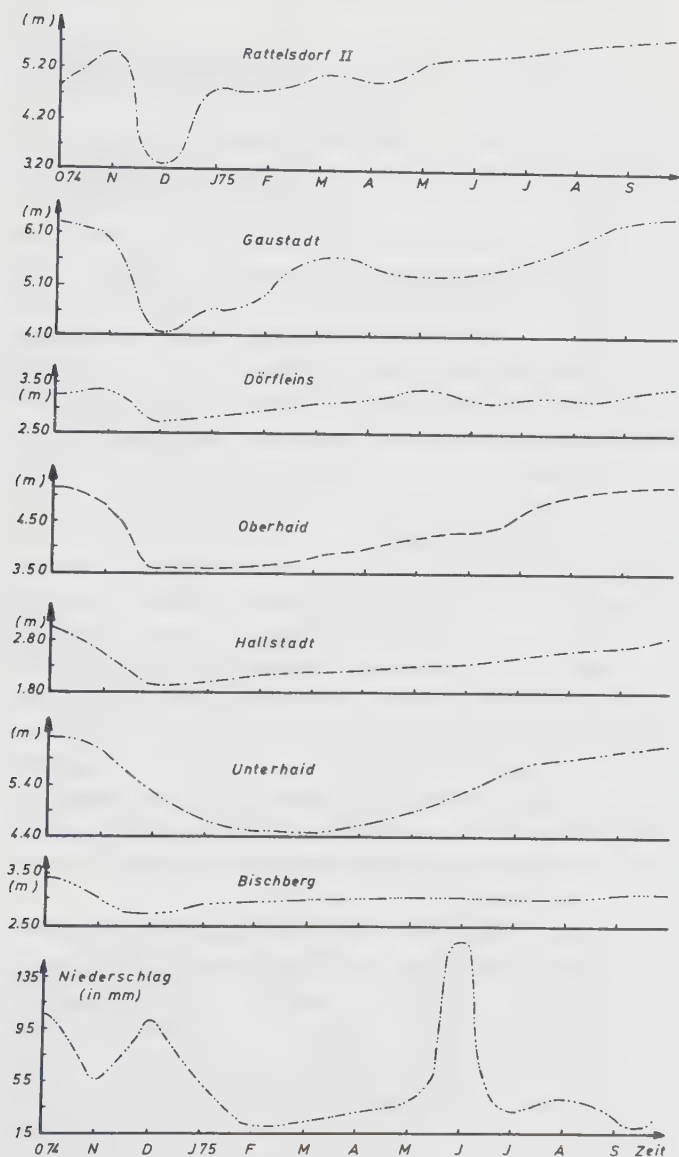
Grundwasserstand und Grundwassermeßwerte für die
Abflußjahre 1973-74 und 1974-75

Meßstation : Bischberg
MP = Meßpunkthöhe : 234,31 m üNN
Mittl. Geländehöhe : 234,38 m üNN

Meßdatum	Wasserstand unter MP (in m)	GW-Sp. üNN (in m)	Meßdatum	Wasserstand unter MP (in m)	GW-Sp. üNN (in m)
Winter-Halbjahr 1974:			Winter-Halbjahr 1975:		
26.11.73	3,03	231,28	26.11.74	3,00	231,31
31.12.73	2,99	231,32	30.12.74	2,68	231,63
28.01.74	3,00	331,31	27.01.75	2,96	231,35
25.02.74	2,97	231,34	24.02.75	2,99	231,32
25.03.74	3,00	231,31	24.03.75	3,04	231,27
29.04.74	3,06	231,25	28.04.75	3,03	231,28
Sommer-Halbjahr 1974:			Sommer-Halbjahr 1975		
27.05.74	3,07	231,24	26.05.75	3,08	231,23
24.06.74	3,09	231,22	30.06.75	3,04	231,27
29.07.74	3,08	231,23	28.07.75	3,08	231,23
26.08.74	3,08	231,23	25.08.75	3,03	231,28
30.09.74	3,08	231,23	29.09.75	3,08	231,23
28.10.74	2,93	231,38	27.10.75	3,09	231,22
Durchschnitt	für das	Winter-Halbjahr 1974:	231,30		
"	"	"	Sommer-Halbjahr 1974: 231,25		
"	"	"	Abflußjahr 1973-74: 231,28		
Durchschnitt	für das	Winter-Halbjahr 1975:	231,36		
"	"	"	Sommer-Halbjahr 1975: 231,24		
"	"	"	Abflußjahr 1974-75: 231,30		

Abb. 55

Veränderung des GRUNDWASSERSTANDES im
Bereich um Bamberg im Vergleich zum NIEDERSCHLAG.



11.2.2. Grundwasserstand zwischen Forchheim und Strullendorf

Die folgenden vier Brunnen zeigen im Gegensatz zu den vorher genannten, eine von Norden nach Süden immer größer werdende Schwankungsbreite in ihrem jährlichen Grundwassergang und sind auffälligerweise auch im Sommer-Halbjahr zum Teil starken Schwankungen unterworfen. Der Brunnen westlich von Strullendorf zeigt eine Schwankungsbreite von 0,83 m und einen durchschnittlichen Grundwasserspiegel von 4,90 m unterhalb des Meßpunktes im gesamten Abflußjahr 1974-75. In dem niederschlagsärmeren Jahr 1973-74 senkte sich das Grundwasser sogar um 0,33 m auf 5,23 m Tiefe ab. Während der niederschlagsreichen Monate Oktober und Dezember 1974 änderte sich die Grundwasserlinie bei Strullendorf in ihrem Verlauf kaum, so daß erst im Februar 1975 der tiefste Wasserstand mit 4,49 m erreicht wurde (vgl. Abb. 56). Eine gleichmäßige Absenkung des Grundwassers bis auf 5,26 m unter der Erdoberfläche deutet auf den weiteren Verlauf des Wasserstandes, wobei die Höhe der Niederschlagsmenge von 158 mm im Juni 1975, wie aus Abb. 60 zu ersehen ist, keinen direkten und kurzfristigen Einfluß auf den Grundwasserspiegel hatte, was darauf schließen läßt, daß die Grundwasserlinie in diesem Bereich im wesentlichen von der Höhe der Wasserführung in der Regnitz selbst bestimmt wird und weniger von Niederschlägen, die nur langfristig Einwirkungen hervorrufen.

Der westlich der Regnitz und südwestlich von Strullendorf abgeteufte Versuchsbrunnen der Meßstation Pettstadt bezieht, wie aus Abb. 60 zu erkennen ist, sein Grundwasser weitgehend direkt aus der Regnitz, aber stärker als der Brunnen in Strullendorf wird er durch versickernde Niederschläge beeinflusst,

Abb. 56

Grundwasserstand und Grundwassermeßwerte für die
Abflußjahre 1973-74 und 1974-75

Meßstation : Strullendorf

MP = Meßpunkthöhe : 242,93 m üNN

mittl. Geländehöhe : 242,03 m üNN

Meßdatum	Wasserstand unter MP (in m)	GW-Sp. üNN (in m)	Meßdatum	Wasserstand unter MP (in m)	GW-Sp. üNN (in m)
----------	-----------------------------------	-------------------------	----------	-----------------------------------	-------------------------

Winter-Halbjahr 1974:

26.11.73	5,35	237,58
31.12.74	5,29	237,64
28.01.74	5,22	237,71
25.02.74	5,11	238,72
25.03.74	5,07	237,86
29.04.74	5,14	237,79

Winter-Halbjahr 1975:

25.11.74	5,18	237,75
30.12.74	4,69	238,24
27.01.75	4,51	238,42
24.02.75	4,49	238,44
24.03.75	4,65	238,28
28.04.75	4,78	238,15

Sommer-Halbjahr 1974:

27.05.74	5,22	237,71
24.06.74	5,25	238,68
29.07.74	5,22	237,71
26.08.74	5,21	237,72
30.09.74	5,31	237,62
28.10.74	5,32	237,61

Sommer-Halbjahr 1975:

26.05.75	4,86	238,08
30.06.75	4,97	237,96
28.07.75	5,01	237,92
25.08.75	5,12	237,81
29.09.75	5,21	237,72
27.10.75	5,26	237,67

Durchschnitt für das Winter-Halbjahr 1974: 237,73

" " " Sommer-Halbjahr 1974: 237,67

" " " Abflußjahr 1973-74: 237,70

Durchschnitt für das Winter-Halbjahr 1975: 238,21

" " " Sommer-Halbjahr 1975: 237,86

" " " Abflußjahr 1974-75: 238,03

da der Brunnen bei Pettstadt auf einer kilometerbreiten Regnitz-Terrasse gerade an einer Stelle angelegt worden ist, deren lockere und porige Gesteine sehr rasch die Niederschlagswässer bis zum Grundwasser durchsickern lassen. Während die sehr hohe Niederschlagsmenge des Monats Juni 1975 einen geringen Einfluß auf den Verlauf der Grundwasserlinie ausübte, wirkte der niederschlagsarme Monat November 1974 mit 53 mm zwischen den niederschlagsreichen Monaten Oktober und Dezember desselben Jahres (116 und 113 mm) sehr deutlich auf den Grundwasserstand bei Pettstadt ein. So wurde eine Absenkung des Grundwasserspiegels von 3,32 m im Oktober 1974 auf 3,53 m im November verursacht. Weiterhin sank der Wasserstand von 2,91 m im Februar 1975 kontinuierlich bis zum Ende des Untersuchungsjahres auf 3,80 m ab, bevor er noch einmal im August 1975 kurzzeitig durch Niederschlagswasser bei 3,75 m unterhalb des Meßpunktes aufgehalten wurde (vgl. Abb. 57). Insgesamt betrachtet, weisen die im östlichen und westlichen Tal gemessenen Grundwässer eine starke Abhängigkeit von der Regnitz auf, obwohl die im Westteil angelegten Versuchsbrunnen einen um 1,60 m höheren Wasserstand zeigen. Die Schwankungsbreite des Grundwasserspiegels blieb aber im Westen mit 0,85 m im Jahr fast genauso hoch wie die im Ostteil beobachteten 0,83 m, was nur eine Bestätigung der großen Einflußnahme des Regnitzwassers auf die beiden Versuchsbrunnen bedeuten kann.

Der Brunnen bei Pommersfelden liegt als einziger nicht auf den Regnitz-Terrassen, sondern auf den quartären Ablagerungen der Regnitz-Nebenterrasse der Reichen Ebrach, 12,8 km westlich des Regnitztales (vgl. Abb. 14). Mit 3,35 m durchschnittlichem Grundwasserstand im Abflußjahr 1973-74 und sogar 3,17 m im

Abb. 57

Grundwasserstand und Grundwassermeßwerte für die
Abflußjahre 1973-74 und 1974-75

Meßstation : Pettstadt
MP = Meßpunkthöhe : 245,74 m üNN
mittl. Geländehöhe : 245,74 m üNN

Meßdatum	Wasserstand unter MP (in m)	GW-Sp. üNN (in m)	Meßdatum	Wasserstand unter MP (in m)	GW-Sp. üNN (in m)
----------	-----------------------------------	-------------------------	----------	-----------------------------------	-------------------------

Winter-Halbjahr 1974:

26.11.73	3,74	241,90
31.12.73	3,82	241,92
28.01.74	3,79	241,95
25.02.74	3,72	242,02
25.03.74	3,62	242,12
29.04.74	3,65	242,07

Winter-Halbjahr 1975:

25.11.74	3,53	242,21
30.12.74	3,12	242,62
27.01.75	2,99	242,75
24.02.75	2,91	242,63
24.03.75	2,99	242,75
28.04.75	3,11	242,63

Sommer-Halbjahr 1974:

27.05.74	3,73	242,01
24.06.74	3,76	241,98
29.07.74	3,71	242,03
26.08.74	3,75	241,99
30.09.74	3,80	241,94
28.10.74	3,32	242,42

Sommer-Halbjahr 1975:

26.05.75	3,21	242,53
30.06.75	3,30	242,44
28.07.75	3,43	242,31
25.08.75	3,75	241,99
29.09.75	3,72	242,02
27.10.75	3,76	241,98

Durchschnitt für das Winter-Halbjahr 1974: 241,99

" " " Sommer-Halbjahr 1974: 242,06

" " " Abflußjahr 1973-74: 242,02

Durchschnitt für das Winter-Halbjahr 1975: 242,59

" " " Sommer-Halbjahr 1975: 242,11

" " " Abflußjahr 1974-75: 242,35

Abflußjahr 1974-75 weist dieser Brunnen keinen besonders tiefen Grundwasserspiegel auf, obwohl er gegenüber äußeren Einflüssen wie Regen- und Schneewasser eine ziemlich große Anfälligkeit zeigt. Das Sommer-Halbjaar 1975 machte sehr deutlich, wie schnell die Niederschlagswässer das Grundwasser an dieser Meßstelle beeinflussen können (vgl. Abb. 60). So führte z.B. die Erhöhung der Niederschläge im Juni 1975 (158 mm) zu einer sofortigen Anhebung des Grundwasserstandes von 3,48 m im Mai auf 2,84 m im Juni oder die relative Trockenheit der Monate Juli, August und September wieder zu einem schnellen Absinken des Wasserstandes bis auf 3,61 m Tiefe (vgl. Abb. 58). Der Monat Dezember 1974 verursachte mit 113 mm Niederschlag eine Steigerung des Wasserstandes noch im gleichen Monat auf 2,40 m unterhalb des Meßpunktes, was die höchste Steigerung des Grundwasserspiegels im gesamten Untersuchungsjaar bedeuten kann. Die niederschlagsärmeren Monate Februar bis einschließlich Mai 1975 bewirkten eine Absenkung des Grundwassers bis auf 3,48 m Tiefe. Die Schwankungsbreite von 1,27 m im Grundwasser innerhalb eines Jahres besagt, daß der Brunnen nicht allein von den Niederschlägen, sondern auch von der naheliegenden Reichen Ebrach beeinflusst wird.

Schließlich soll zur Ermittlung der Grundwasserschwankungen im Arbeitsgebiet noch der Versuchsbrunnen auf der Regnitz-Wiesent-Terrasse südöstlich von Forchheim bei Sigritzau behandelt werden, ein Brunnen, dessen Wasserstand auf beste Weise die Versickerungsmenge des Niederschlagswassers durch seine Grundwasserlinie widerspiegeln kann. Ausnahmslos alle Veränderungen der Niederschlagshöhe wurden durch die Schwankungen des Grundwasserspiegels dieses Brunnens registriert, wenn auch verständlicherweise nicht in

Abb. 58

Grundwasserstand und Grundwassermeßwerte für die
Abflußjahre 1973-74 und 1974-75

Meßstation : Pommersfelden

MP = Meßpunkthöhe : 268,40 m üNN

mittl. Geländehöhe : 268,08 m üNN

Meßdatum	Wasserstand unter MP (in m)	GW-Sp. üNN (in m)	Meßdatum	Wasserstand unter MP (in m)	GW-Sp. üNN (in m)
----------	-----------------------------------	-------------------------	----------	-----------------------------------	-------------------------

Winter-Halbjahr 1974:

24.11.73	3,49	263,91
29.12.73	3,20	265,20
26.01.74	3,11	265,29
23.02.74	3,07	265,23
30.03.74	3,25	265,15
27.04.74	3,40	265,00

Winter-Halbjahr 1975:

30.11.74	2,92	265,48
28.12.74	2,40	266,00
25.01.75	2,72	265,68
22.02.75	2,92	265,48
29.03.75	3,14	265,26
26.04.75	3,26	265,14

Sommer-Halbjahr 1974:

25.05.74	3,57	264,83
29.06.74	3,36	265,04
27.07.74	3,36	265,04
31.08.74	3,53	264,87
28.08.74	3,60	265,80
26.10.74	3,16	265,24

Sommer-Halbjahr 1975:

31.05.75	3,48	264,92
28.06.75	2,84	265,56
26.07.75	3,34	265,06
30.08.75	3,65	264,75
27.09.75	3,61	264,79
31.10.75	3,67	264,73

Durchschnitt für das Winter-Halbjahr 1974: 265,13

" " " Sommer-Halbjahr 1974: 264,97

" " " Abflußjahr 1973-74: 265,05

Durchschnitt für das Winter-Halbjahr 1975: 265,50

" " " Sommer-Halbjahr 1975: 264,96

" " " Abflußjahr 1974-75: 265,23

gleich starkem Maße (vgl. Abb. 60). Den höchsten Wasserstand erreichte dieser Brunnen im Dezember 1974 mit 1,72 m unter dem Meßpunkt, wobei in diesem Monat 113 mm Niederschlag in Form von Regen und Schnee gemessen wurden. Die niederschlagsärmeren Monate Februar bis Mai ließen den Grundwasserspiegel kontinuierlich bis auf rund 3 m in demselben Zeitraum absinken, wobei er durch die Niederschläge im Juni 1975 (mit 158 mm) wieder auf 2,25 m anstieg (vgl. Abb. 59). Das Sommer-Halbjaar 1975 mit seinem Niedrigwasser verursachte eine zunehmende Absenkung des Grundwasserstandes bis auf 3,78 m, wobei der regelmäßig steigende Verlauf der Grundwasserlinie, wie deutlich aus Abb. 60 zu erkennen ist, nur durch die Niederschlagsmenge des Monats August (43 mm) kurzzeitig unterbrochen wurde. Mit einer Schwankungsbreite von 2,06 m wies dieser Brunnen einen der höchsten bisher gemessenen Werte überhaupt auf, obwohl sich sein durchschnittlicher Grundwasserstand im Abflußjaar 1973-74 mit 3,29 m nicht wesentlich vom Jahr 1974-75 mit 3,01 m unterschied. Die hohen Grundwasserschwankungen fast unmittelbar nach jeder Regenperiode lassen sich bei dieser Meßstation nur durch die lockeren, porigen Speichergesteine des quartären Untergrundes bis zu einer Tiefe von 4 bis 6 m erklären. Diese leiten das Niederschlagswasser sehr rasch in das Grundwasser und führen folglich zu einer sofortigen Veränderung des Wasserstands.

Abb. 59

Grundwasserstand und Grundwassermeßwerte für die
Abflußjahre 1973-74 und 1974-75

Meßstation : Sigritsau
MP = Meßpunkthöhe : 264,88 m üNN
mittl. Geländehöhe : 264,26 m üNN

Meßdatum	Wasserstand unter MP (in m)	GW-Sp. üNN (in m)	Meßdatum	Wasserstand unter MP (in m)	GW-Sp. üNN (in m)
----------	-----------------------------------	-------------------------	----------	-----------------------------------	-------------------------

Winter-Halbjahr 1974:

25.11.73	4,01	260,87
30.12.73	3,87	261,01
27.01.74	3,58	261,30
25.02.74	3,17	261,71
31.03.74	3,41	261,47
28.04.74	3,65	261,23

Winter-Halbjahr 1975:

24.11.74	3,69	261,19
29.12.74	1,72	263,16
26.01.75	2,31	262,57
23.02.75	2,75	262,02
30.03.75	3,18	261,70
27.04.75	3,24	261,64

Sommer-Halbjahr 1974:

26.05.74	1,78	263,10
30.06.74	2,78	262,10
28.07.74	3,27	261,61
25.08.74	3,17	261,71
29.09.74	3,11	261,77
27.10.74	3,56	261,32

Sommer-Halbjahr 1975:

25.05.75	2,93	261,95
29.06.75	2,25	262,53
27.07.75	3,48	261,40
31.08.75	3,04	261,84
28.09.75	3,43	261,45
26.10.75	3,78	261,10

Durchschnitt für das Winter-Halbjahr 1974: 261,26

" " " Sommer-Halbjahr 1974: 261,93

" " " Abflußjahr 1973-74: 261,59

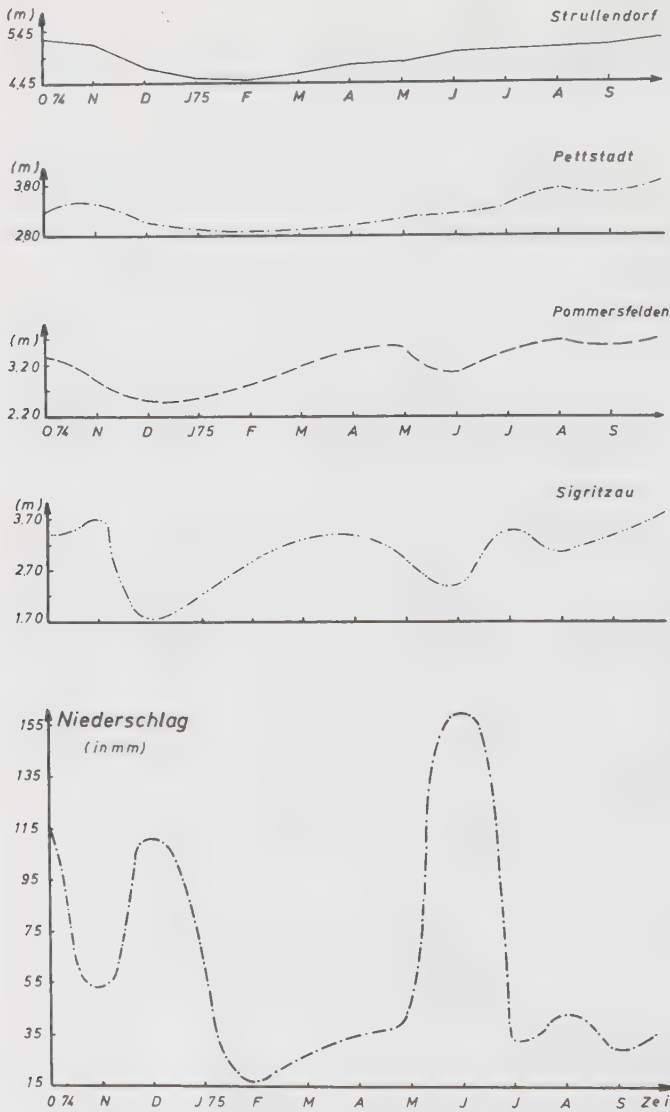
Durchschnitt für das Winter-Halbjahr 1975: 262,04

" " " Sommer-Halbjahr 1975: 261,71

" " " Abflußjahr 1974-75: 261,87

Abb. 60

Veränderung des GRUNDWASSERSTANDES zwischen
Forchheim und Strullendorf im Vergleich zum NIEDERSCHLAG.



11.3. Verhältnis von Chlorid zu Sulfat und Härte im offenen Grundwasser

Nachdem in den vorangegangenen Kapiteln ausführlich Chlorid und Sulfat in ihrer Beziehung zu einander und zu gelösten Ionen, u.a. Calcium- und Magnesium-Ionen besprochen wurden, soll nun an dieser Stelle diese Beziehung in den drei offenen Grundwasserstellen bei Seußling (50), Hirschaid (48) und westlich von Unterstürmig (41) behandelt werden (vgl. Abb. 16). Die drei Komponenten Sulfat, Chlorid und Gesamthärte wurden unter anderem aus dem Grund ausgewählt, da sie ausnahmslos in allen Gewässern nachweisbar sind und oft die höchsten Gehalte (mit über 80%) der in der Probe befindlichen Anionen bilden und als Kationen die reichlich vorhandenen Calcium- und Magnesium-Ionen die eigentlichen Härtebildner darstellen.

Der minimale Sulfatgehalt beträgt im offenen Grundwasser bei der Meßstation Hirschaid 48,9 ppm und maximal bei Unterstürmig 67,2 ppm im Jahresdurchschnitt; die Chloride sind mit 27,7 ppm bei Hirschaid und 34,50 ppm bei Meßstelle Seußling vertreten. Der Gesamthärtegrad variiert in den drei Wasserproben zwischen 12,1 dH° bei Hirschaid und 15,6 dH° westlich von Unterstürmig.

In den einzelnen Proben wurde nach gründlichen chemischen Analysen eine deutliche Wechselbeziehung (Einfachkorrelation) zwischen Chlorid- und Sulfat-Ionen, sowie Chloridverbindungen und Gesamthärte (beruhend auf Magnesium- und Calciumbasis) festgestellt. Der Bereich, in dem Chloride und Sulfate relativ oft nebeneinander vorkommen, liegt, wie aus Abb. 61 zu ersehen ist, zwischen 34 und 39 ppm beim Chlorid-, aber zwischen 35 und 60 ppm beim Sulfatge-

Abb. 61

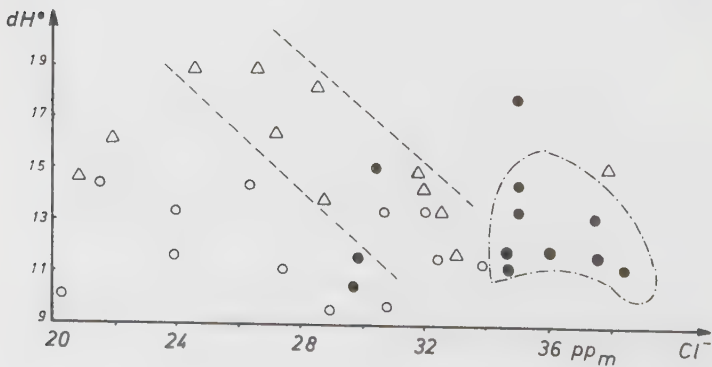
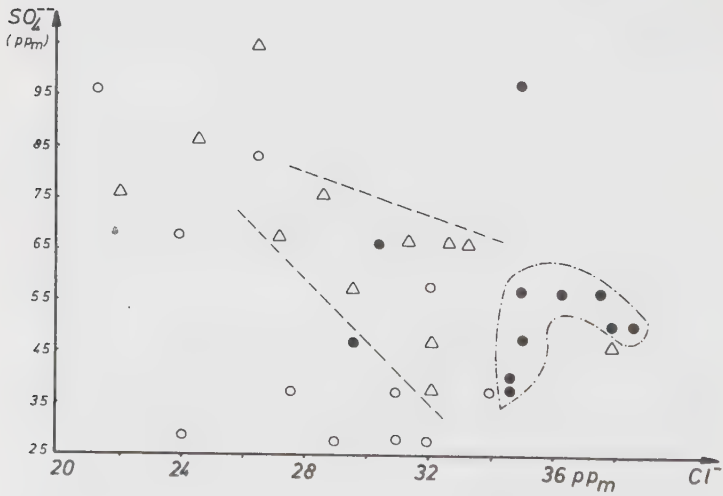
Beziehung der CHLORID-IONEN zu HÄRTEGRAD

und SO_4 -IONEN in den drei Grundwasserproben:

○ Hirschaid

● Seußling

△ Unterstürmig



halt in derselben Grundwasserprobe bei Seußling. In den Wasserproben der Meßstation Unterstürmig herrschen ganz andere Verhältnisse, und zwar tritt hier neben 28 bis 34 ppm Chlorid-Ionen eine relativ hohe Sulfatkonzentration auf, die sich zwischen 35 und 85 ppm bewegt. Bei Hirschaid gilt grundsätzlich ein niedrigerer Sulfatbereich mit mittlerer Chloridkonzentration als dominierendes Chlorid-Sulfat-Verhältnis, wobei gelegentliches Vorkommen von sehr hohem Sulfat- neben niedrigem Chlorid-Ionengehalt in einer einzigen Probe des Grundwassers nicht auszuschließen ist. Die Maxima mit hohem bis sehr hohem Chlorid- und Sulfatgehalt sind charakteristisch für die Monate (Dezember 1974 und Januar 1975), in denen ein ungewöhnlich hoher Zufluß von stark salzhaltigem Wasser in das Grundwasser vor sich gegangen ist, und dadurch eine übermäßig hohe Anionen-Konzentration verursacht hat.

Die Beziehung zwischen Chlorid und Gesamthärte ist im wesentlichen ähnlich wie die Chlorid-Sulfat-Beziehung. In dem offenen Grundwasser bei Seußling entspricht der Härte-Chlorid-Bereich in etwa dem Sulfat-Chlorid-Bereich, bei Tiefenstürmig ist der Chloridgehalt umso geringer, je höher die Wasserhärte ansteigt (vgl. Abb. 61). Bei Hirschaid bleibt die Beziehung Chlorid-Härte eindeutig auf die niedrigen Härtegrade beschränkt, wobei die Chloridwerte sich zwischen 20 und 34 ppm bewegen können. Die Wasserproben weisen allgemein gesehen einen niedrigen bis mittleren Härtegrad auf. Wo die Chloride als ausschlaggebende Anionen einen höheren Betrag erreichen, geht der Wert der Gesamthärte zurück (z.B. in Bereichen, in denen die Chloride einen höheren Gehalt als 28 ppm besitzen), da als Anionen der Gesamthärte fast nur Sulfate in Frage kommen. Bei einer Ver-

ringerung der Zahl der Anionen geht hier zuerst der Sulfatgehalt und damit wiederum als erstes die mit den Sulfat-Ionen verbundene Nichtkarbonathärte zurück, die übrigbleibende Härte geht dann mit den vorliegenden Chlorid-Ionen in Verbindung.

11.4. Charakteristische Faktoren der Grundwasserproben bei Hirschaid, Seußling und Unterstürmig

Die wichtigsten und bedeutendsten hydrochemischen Meßdaten der drei Grundwässer sind Sulfat-, Calcium-, Magnesium- und Chloridgehalte, sowie pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit, die instrumentell bestimmt wurden. Die allgemeine Beziehung dieser Faktoren untereinander und ihre Einflüsse aufeinander wurden bereits in Kap. 8.5., 8.9. und 9. ausführlich behandelt. An dieser Stelle soll nur speziell die Höhe dieser wichtigen Komponenten und die Beurteilung des Grundwassers an Hand ihrer Meßdaten behandelt werden. Die übrigen Meßergebnisse, die hier nicht genannt werden, sind in Abb. 87, 94 und 96 im Anhang zu finden.

Die drei offenen Grundwasser kommen alle im südlichen Teil des Gebietes in Kiesgruben vor, wobei die Gruben bei Unterstürmig und Hirschaid in den Nieder- und die Kiesgrube bei Seußling in den Vorterrassensanden angelegt sind. Das Grundwasser bei Seußling weist den höchsten Gehalt an Magnesium von 15,4 ppm auf und einen relativ hohen Calciumwert von 65,5 ppm (vgl. Abb. 62). Als Anionen sind nur der hohe Chloridwert von 34,5 ppm und der Sulfatgehalt von 50,4 ppm in diesem Zusammenhang zu berücksichtigen. Die elektrische Leitfähigkeit ist mit 388 Mikro-Siemens nur mäßig hoch, im Gegensatz zu dem relativ hohen pH-Wert von 8,3, der ein schwach alkalisches Wasser charak-

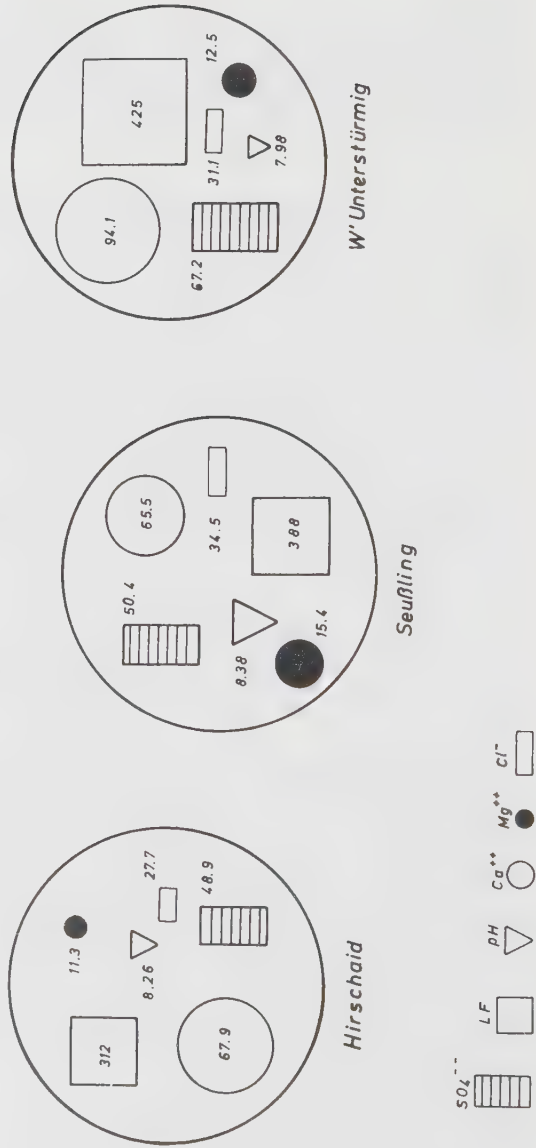
terisiert. Insgesamt kann unter Berücksichtigung aller übrigen Eigenschaften das offene Grundwasser bei Seußling als $\text{Ca-SO}_4\text{-Cl}$ -Wasser bezeichnet werden, dessen Magnesium-Ionen nur eine untergeordnete Bedeutung beigemessen werden darf.

Eine große Calcium-Ionenkonzentration von 94,1 ppm, der mit 57,2 ppm größte Sulfatgehalt der drei Grundwasserproben und die für ein Grundwasser sehr hohe elektrische Leitfähigkeit von 425 Mikro-Siemens charakterisieren das Wasser der Kiesgrube westlich von Unterstürmig. Der pH-Wert liegt hier im Jahresdurchschnitt bei nur 7,98 und stellt somit den geringsten unter allen Grundwasserproben dar. Mit einem mäßigen Gehalt an Magnesium-Ionen von 12,5 ppm und einem Chlorid-Ionenanteil von 31,1 ppm ist das dortige Grundwasser nur als $\text{Ca-SO}_4\text{-Cl}$ -Wasser zu bezeichnen (vgl. Abb. 62).

Das offene Grundwasser der größten Kiesgrube bei Hirschaid kann als das am wenigsten belastete Grundwasser im Untersuchungsgebiet gelten, weist es doch mit nur 11,3 ppm Magnesium- und 67 ppm Sulfat-Ionenkonzentration die niedrigsten bisher gemessenen Werte auf. Die elektrische Leitfähigkeit des Wassers beträgt im gesamten Jahr nur 312 Mikro-Siemens. Auch der pH-Wert von 8,26 deutet auf ein relativ wenig verunreinigtes Wasser hin. Mit einem Gehalt von 27,7 ppm an Chlorid- und mäßig hohen 67,9 ppm an Calcium-Ionen ist das Grundwasser bei Hirschaid als $\text{Ca-SO}_4\text{-Cl}$ -Wasser zu bezeichnen, da allen übrigen chemischen Komponenten eine untergeordnete Bedeutung zukommt (vgl. Abb. 62 und Abb. 94).

Abb. 62

pH-WERT, elektr. LEITFÄHIGKEIT, Ca-, Mg -, Cl- und SO₄- IONENKONZENTRATION der drei Grundwasserproben (Hirschaid, Seußling u. Unterstürmig) im Jahresdurchschnitt, angegeben in mS bzw. ppm.



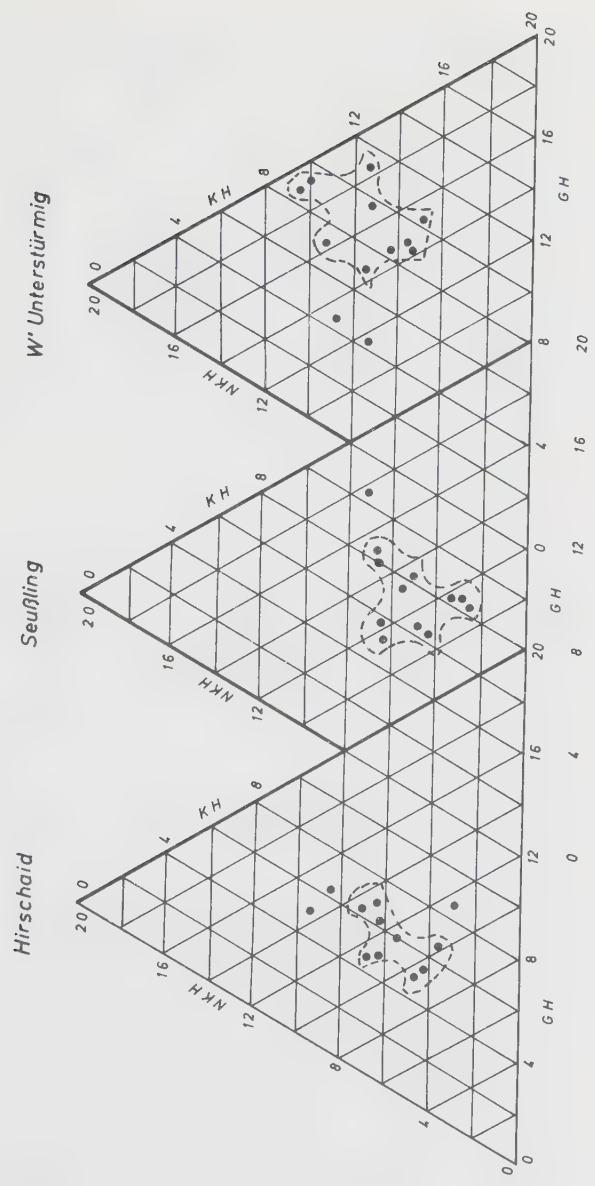
11.5. Gegenüberstellung der Wasserhärte der drei Grundwasserproben

Die Härtegrade der Wasserproben in den offenen Grundwässern richten sich nach der Höhe der Summe aller vorliegenden gelösten Kationen. Wo die Sulfat- oder Chlorid-Ionen mit mehr Kationen, z.B. Calcium und Magnesium, Verbindungen darstellen, steigert sich auch die Härte entsprechend (vgl. Abb. 63 und Kap. 11.4.). Die Grundwasserprobe westlich von Unterstürmig ist, beruhend auf ihrem hohen Sulfat- und Chloridgehalt, auffällig um einige Grade härter als die übrigen Proben. Im Jahresdurchschnitt weist das Wasser einen Gesamthärtegrad von $15,6 \text{ dH}^\circ$ auf, gegenüber $12,8$ und $12,1$ deutschen Gesamthärtegraden bei Seußling bzw. Hirschaid. Auch die Karbonathärte dieses Wassers liegt mit $8,34 \text{ dH}^\circ$ höher als bei Meßstation Seußling und über 2 dH° höher als das Grundwasser bei Hirschaid. Die Wasserprobe aus der Kiesgrube bei Seußling mit ihrem relativ niedrigen Sulfatgehalt weist auch dementsprechend nur eine Nichtkarbonathärte von durchschnittlich $5,3 \text{ dH}^\circ$ auf, wobei in den Grundwasserproben von Hirschaid $6,08 \text{ dH}^\circ$ und von Unterstürmig sogar $7,30 \text{ dH}^\circ$ als Nichtkarbonathärte auftreten können. Bezogen auf ihre verschiedenen Gesamthärtegrade zeigen die Wasserproben, wie aus Abb. 63 ersichtlich, auch verschieden große Härtebereiche. Den kleinsten Bereich, in dem sich die sämtlichen bereits gemessenen Härtegrade der Probe befinden, enthält das offene Grundwasser bei Hirschaid, mit nur $9,5$ bis $13,5 \text{ dH}^\circ$. Einen weniger konzentrierten Bereich zeigen die untersuchten Wasserproben der Kiesgrube bei Seußling, wo der Gesamthärtebereich zwischen $10,6$ und $15,1 \text{ dH}^\circ$ liegt. Der am weitesten ausgedehnte und verstreute Härtebereich zeigt sich in der Grundwasserprobe westlich von Tiefenstürmig, die

in einem Intervall von 14,0 bis 19,0 dH⁰ liegt. Meßzahlen außerhalb dieses Bereiches wurden grundsätzlich nicht berücksichtigt, da sie im gesamten Untersuchungsjahr nur zwischen ein- und dreimal auftraten (in den Grundwasserproben bei Hirschaid dreimal, bei Seußling einmal und bei Unterstürmig zweimal).

Abb. 63

Härtevergleich der GRUNDWASSERPROBEN aus den drei Kiesgruben im südlichen Bereich des Untersuchungsgebiets



EXKURS:

METEOROLOGISCHE DATEN

12. Witterungsverhältnisse im gesamten Untersuchungsgebiet und dessen Umgebung

Auf die hydrologischen Gegebenheiten des Gebietes ist nicht zuletzt die klimatische Situation von gewissem Einfluß, ein Grund, weshalb hier die auf den Untersuchungszeitraum zutreffenden meteorologischen Daten angegeben werden sollen. Da jedoch die Beobachtung der klimatologischen Verhältnisse nicht zur eigentlichen Aufgabe der vorliegenden Arbeit gehört, stütze ich mich zur Ergänzung meiner eigenen Beobachtung auf Unterlagen, die das Wetteramt Bamberg mir freundlicherweise zur Verfügung gestellt hat.

Eine Betrachtung der klimatischen Verhältnisse im Untersuchungsgebiet kann jedoch nur dann sinnvoll sein, wenn sie in größerem geographischen und zeitlichen Rahmen vorgenommen und zumindest die unmittelbare Nähe des Arbeitsgebietes in Betracht gezogen wird. Eine Abgrenzung des im vorliegenden Fall zu betrachtenden klimatischen Gebietes im Westen stellt der Steigerwald mit einer jährlichen Niederschlagsmenge von über 800 mm dar, während die östliche Grenze durch die Fränkische Alb gebildet wird, in deren Hochlagen bis zu 1000 mm Niederschlag gemessen wurden.

Auf dem nordöstlichen Teil Oberfrankens nimmt die Niederschlagshöhe langsam bis auf 800 mm pro Jahr ab, im Gebiet der oberen Wiesent wurden sogar unter 750 mm gemessen. Wie durch langjährige Messungen ermittelt, fallen im Regnitzgebiet 723 mm Niederschlag pro Jahr, davon 303 mm im Winter- und 420 mm im Sommerhalbjahr.

Der westliche Teil des Untersuchungsgebietes bis zur Hauptquelle der Aurach und zur Reichen und Rauhen

Ebrach jedoch liegt unter dem Durchschnittswert mit einem Niederschlag von rund 657 mm und zum Teil noch darunter, womit er zu den trockensten Teilen des Regnitzeeinzugsgebietes, ja sogar ganz Bayerns zu zählen ist.

Wie langjährige Messungen ergaben, steigt die Niederschlagsmenge von März, mit 37 mm der Monat mit dem geringsten Niederschlag, bis Juli langsam an (April 41 mm, Mai 62 mm, Juni 73 mm, Juli 83 mm). Ab Juli, der Monat mit den höchsten Niederschlagsmengen ist ein kontinuierlicher Rückgang zu verzeichnen (August 69 mm, September 51 mm und Oktober 53 mm). Im Januar und Februar fallen 51 bzw. 43 mm Niederschlag in Form von Regen und Schnee auf gefrorenen Boden; denn diese beiden Monate sind nach langjährigen Beobachtungen die einzigen mit durchschnittlichen Lufttemperaturen zwischen minus 1,2 und minus 0,2^o Celsius (vgl. Abb. 64a, 1. Spalte). Die langjährigen Mittelwerte ergeben sich als Durchschnitt der Verhältnisse von mindestens 30 Jahren, ein Prinzip, nach dem auch andere Witterungsfaktoren, wie langjährige Lufttemperatur, Sommer- oder Frostage usw. bestimmt werden. In den Jahresmittelwert der Lufttemperatur gehen, im Gegensatz zu dem vorher genannten Monatsdurchschnitt, alle charakteristischen Eigenheiten der einzelnen Monate ein. Der Jahresmittelwert beträgt in dieser Region etwa 8,2^oC, was zugleich der charakteristischen Lufttemperatur von Höhen zwischen 300 und 400 m üNN entspricht. In den Gebieten unter 300 m üNN liegt die Durchschnittstemperatur bei 8,5^oC, zwischen 400 und 465 m Höhe nur noch bei 7,9^oC. Im gesamten Arbeitsgebiet und dessen Umgebung herrscht nach langjährigen Beobachtungen z.B. im Januar eine Mitteltemperatur von -1,1^o bis -1,2^o in Höhenlagen um 465 m üNN. Wie überall, so sind auch hier zwischen Niederungen und Gebirgen große Temperatargegensätze ausgebildet; so

wurde z.B. im Juli das niedrigste Monatsmittel mit $17,0^{\circ}\text{C}$ in Gößweinstein und das höchste Monatsmittel mit $18,2^{\circ}\text{C}$ in Bamberg festgestellt.

Neben Lufttemperatur und Niederschlagsmenge sind noch weitere meteorologische Daten aus den Tabellen 64 bis 66 zu ersehen. Die Bedeutungen der einzelnen Begriffe werden wie folgt definiert: Sommertage sind klimatologisch betrachtet diejenigen Tage, an denen die Höchsttemperatur 25°C überschreitet, wobei bei Temperaturen von über 30°C die Bezeichnung Tropentag benützt wird. Für einen Frosttag muß die Luft ein Minimum vom 0°C erreichen, d.h. die Temperatur sinkt nur zeitweilig, meist nachts oder vor Sonnenaufgang auf den Gefrierpunkt, während der Tageswert darüber liegen kann. Bleiben aber die Temperaturen dauernd unter dem Gefrierpunkt, so spricht man von einem Eistag. Im Untersuchungsgebiet wurden innerhalb der letzten drei angegebenen Jahre 1973, 1974 und 1975 zwischen 46 und 123 Frosttage und 2 bis 19 Eistage gezählt (vgl. Abb. 64a, 65a, 66a). Besonders für die langfristig geplante Wasserversorgung sind die Schneeeverhältnisse von größter Wichtigkeit. Die Schneegrenze ist besonders von der geographischen Lage abhängig; so beträgt z.B. die mittlere Zahl von Schneedeckentagen im Raum Nürnberg etwa 52, auf der höher gelegenen Fränkischen Alb dagegen 70, im oberen Regnitztal, im Raum Bamberg aber etwa 50. Unter Schneedeckentagen versteht man den Tag, an dem bis zu 0,1 cm Schnee gefallen ist. Für die Anwendung der Bezeichnung Schnee- oder Regentag ist dagegen nur eine Niederschlagshöhe von mehr als 0,1 mm ausschlaggebend. Als letzte klimatologische Begriffe sind hier noch heitere oder trübe Tage zu nennen. Von einem heiteren Tag spricht man, wenn nur bis zu 25% des Himmels mit

Wolken bedeckt ist und die Lufttemperatur höher als $1,6^{\circ}\text{C}$ beträgt, eine Voraussetzung, die im Arbeitsgebiet im April und Mai, sowie im August und September insgesamt 25 bis 55 mal erfüllt wurde, wobei die Hochdrucklagen vorherrschten. Wesentlich häufiger treten dagegen trübe Tage auf, etwa 130 bis 180 pro Jahr. Diese Benennung verwendet man, wenn das Mittel des Bewölkungsgrades über acht Zehntel liegt (klimatologische Benennung: stark bewölkt), und eine Lufttemperatur von mindestens $6,4^{\circ}\text{C}$ den ganzen Tag über herrscht. Im Spätherbst und in den Wintermonaten wird diese Voraussetzung erfahrungsgemäß am häufigsten erfüllt.

12.1. Klimatische Entwicklung im Jahr 1973

Das Jahr 1973 war mild aber niederschlagsarm. Mit $8,3^{\circ}\text{C}$ lagen die Durchschnittstemperaturen um rund $0,2^{\circ}\text{C}$ unter dem langjährigen Mittelwert. Im gesamten Jahr wurden im Raum Bamberg nur 531 mm Niederschlag gemessen, was im Vergleich mit dem langjährigen Mittelwert von 658 mm im Arbeitsgebiet einen erheblichen Rückgang bedeutet (vgl. Abb. 64a, b). Diese Niederschläge in Form von Regen und Schnee wurden innerhalb von 21 Schneefall- und 39 Schneedeckentagen ermittelt, wobei zusätzlich noch 32 Schnee- und Regentage beobachtet wurden. Die maximale Niederschlagsmenge wurde, wie oft in diesem Raum beobachtet, im Monat Juni, und zwar mit 81 mm, gemessen, wobei nennenswerte Niederschläge nur noch im Juli mit 64 und im Mai mit 65 mm gemessen wurden. Januar und September stellten mit 17 mm und der März mit 19 mm die Monate mit den geringsten Werten dar. Die relativ hohe Zahl von 47 Sommer- und 10 Tropentagen ist charakteristisch für ein trockenes Jahr. Darüber hinaus wurden 123 Frost- und sogar 19 Eistage gemessen. Die fast 190 heiteren

Meteorologische Daten und Witterungsverhältnisse im westlichen und östlichen Bereich
des nördlichen Regnitztales im Jahr 1973

Monat	langjähriger Mittelwert in °C	Mittelwert 1973 in °C	Abweichung v. langjähr. Mittelwert	Sommer- tage	Tropen- tage	Frost- tage	Eis- tage
Januar	-1,2	-0,7	+0,5	-	-	27	8
Februar	-0,2	+0,7	+0,9	-	-	17	3
März	+3,8	+3,7	-0,1	-	-	19	-
April	+8,4	+5,6	-2,8	-	-	14	-
Mai	13,2	13,7	+0,5	3	-	1	-
Juni	16,6	16,6	±0,0	8	1	-	-
Juli	18,2	17,8	-0,4	10	3	-	-
August	17,1	18,3	+1,2	19	4	-	-
September	13,7	14,3	+0,6	7	2	-	-
Oktober	+8,3	+7,9	-1,3	-	-	8	-
November	+3,8	+2,9	-0,9	-	-	16	2
Dezember	+0,2	-1,1	+1,3	-	-	21	6

Monat	Niederschlag (langjährig) in mm	Niederschlag 1973 in mm	Schneefall- tage	Schneedecken- tage	Schnee- u. Regentage	heitere Tage	trübe Tage
Januar	51	17	2	5	8	4	23
Februar	43	38	8	9	*6	2	17
März	37	19	2	1	2	3	9
April	41	38	-	1	6	-	11
Mai	62	65	-	-	-	3	8
Juni	73	81	-	-	-	4	5
Juli	83	64	-	-	-	4	17
August	69	31	-	-	-	13	2
September	51	17	-	-	-	7	4
Oktober	53	59	-	-	-	6	14
November	46	51	5	5	2	2	14
Dezember	49	41	4	18	8	4	15

und trüben Tage machten 1973 insgesamt zu einem Jahr mit relativ viel milden, aber nicht sehr oft bedeckten und bewölkten Tagen.

12.2. Klimatische Entwicklung im Jahr 1974

Während des Jahres 1974 herrschten im Untersuchungsbereich im ganzen Regnitztal die nach langjähriger Beobachtung festgestellten typischen klimatischen Verhältnisse. Die 753 mm Niederschläge im ganzen Jahr 1974 entsprechen in etwa den 723 mm, die im Regnitzgebiet gemessen wurden. Obwohl innerhalb der Juni- und Julimonate mit 78 bzw. 98 mm eine überdurchschnittliche Niederschlagsmenge beobachtet wurde, traf der höchste Niederschlag auf den Oktober mit 116 mm, wobei alle anderen Monatsmittel einen maximalen Wert von unter 50 mm erreichten. Der April zeigte mit nur 17 mm Regen eine auffallend niedrige Niederschlagshöhe. Der Einfluß dieser Niederschlagschwankungen auf die Schüttungsmengen der Quellen wird besonders an der Ochsenquelle deutlich, wo z.B. einem Anstieg des Niederschlages von Oktober bis Dezember 1974 eine erhöhte Schüttung im Januar 1975 folgt (vgl. Abb. 42). Daß fast die ganzen Niederschläge in Form von Regen und weniger in Form von Schnee gefallen sind, zeigte die äußerst geringe Zahl von nur zwei Tagen mit Schneefall, je einer im Februar und Dezember. Die neunzehn Schnee- und Regentage beschränken sich nur auf die Winter- und Spätsommermonate, wobei die in Tab. 65 aufgeführten acht Schnee- und Regentage im November und Dezember zum Abflußjahr 1974-75 gezählt werden. Der August 1974 stellte mit fünfzehn Sommer- und sogar fünf Tropentagen einen ungewöhnlich warmen Monat in den letzten drei Jahren dar, wodurch auch die überdurchschnittlich hohe Monatstemperatur (18,0°C) leicht zu erklären ist. Im

Meteorologische Daten und Witterungsverhältnisse im westlichen und östlichen Bereich
des nördlichen Regnitztales im Jahr 1974

Monat	langjähriger Mittelwert in °C	Mittelwert 1974 in °C	Abweichung v. langjähr. Mittelwert	Sommer- tage	Tropen- tage	Frost- tage	Eis- tage
Januar	-1,2	+3,0	+4,2	-	-	15	-
Februar	-0,2	+3,1	+3,3	-	-	10	-
März	+3,8	+6,9	+3,1	-	-	10	-
April	+8,4	+8,5	+0,1	-	-	10	-
Mai	13,2	11,4	-1,8	-	-	-	-
Juni	16,6	14,8	-1,8	3	-	-	-
Juli	18,2	15,6	-2,6	5	-	-	-
August	17,1	18,0	+0,9	15	5	-	-
September	13,7	14,0	+0,3	7	-	-	-
Oktober	+8,3	+5,4	-2,9	-	-	3	-
November	+3,8	+4,2	+0,4	-	-	9	1
Dezember	+0,2	+4,6	+4,4	-	-	8	1

Fortsetzung von Tab. 65a

Monat	Niederschlag (langjährig) in mm	Niederschlag 1974 in mm	Schneefall- tage	Schneedecken- tage	Schnee- u. Regentage	heitere Tage	trübe Tage
Januar	51	40	-	-	1	-	24
Februar	43	48	1	1	5	3	19
März	37	32	-	-	2	3	16
April	41	17	-	-	1	8	5
Mai	62	50	-	-	-	2	12
Juni	73	78	-	-	-	2	13
Juli	83	94	-	-	-	-	11
August	69	46	-	-	-	6	8
September	51	48	-	-	-	2	6
Oktober	53	116	-	-	2	-	23
November	46	53	-	-	2	1	20
Dezember	49	113	1	4	6	1	22

gesamten Jahr wurden fünfundsechzig Frost- und nur zwei Eistage gemessen, wobei diese Tage in keiner Weise die mittlere Jahrestemperatur von $10,95^{\circ}\text{C}$ beeinflussen können, welche rund $2,46^{\circ}\text{C}$ höher liegt als der langjährige Mittelwert. In keinem Monat wurde ein Temperaturdurchschnitt von weniger als $3,0^{\circ}\text{C}$ gemessen (vgl. Abb. 65a,b). Dagegen wurden in jedem Monat des Jahres 1974 zwischen fünf (im April) und vierundzwanzig (im Januar) trübe Tage gezählt, wovon die Wintermonate die höchste Zahl aufweisen. Das Jahr 1974 brachte im ganzen viele warme und sonnige Tage. Hinsichtlich der Niederschlagshöhe ist es weder als Trocken- noch als ausgesprochenes Naßjahr zu bezeichnen.

12.3. Klimatische Entwicklung im Abfluß- jahr 1974-75

Das Untersuchungsjahr begann mit dem Oktober 1974 und endete im September 1975, was zugleich einem Abflußjahr entspricht. Auf Grund der Wichtigkeit und Bedeutung der klimatischen Entwicklung im Laufe dieses Zeitraums werden im folgenden die einzelnen Monate ausführlicher und insbesondere weiträumiger behandelt, um einen möglichst genauen Einblick in die klimatischen und hydrologischen Zusammenhänge zu geben.

Der Oktober 1974 zeigte sich als verregneter, viel zu kalter, ungewöhnlich sonnenarmer Monat, der mit $+5,4^{\circ}\text{C}$ im Durchschnitt um $2,9^{\circ}\text{C}$ kälter war als man nach den entsprechenden langjährigen Werten erwartet hätte (vgl. Abb. 66a,b). Mit 116 mm Niederschlag brachte dieser Monat 80 bis 150 Liter Regen und Schnee pro Quadratmeter, was das Doppelte bis Dreifache der gewohnten Niederschläge bedeutet, eine Tatsache, die sich u.a. in der erhöhten Schüttungs-

Meteorologisch Daten und Witterungsverhältnisse im westlichen und östlichen Bereich
des nördlichen Regnitztales im Untersuchungsjahr 1974-75

Monat	langjähriger Mittelwert in OC	Mittelwert 1975 in OC	Abweichung v. langjähr. Mittelwert	Sommer- tage	Tropen- tage	Frost- tage	Eis- tage
Oktober 1974	+8,3	+5,4	-2,9	-	-	3	-
November	+3,8	+4,2	+0,4	-	-	9	1
Dezember	+0,2	+4,6	+4,4	-	-	8	1
Januar 1975	-1,2	+3,7	+4,9	-	-	8	-
Februar	-0,2	+1,1	+1,3	-	-	20	-
März	+3,8	+4,1	+0,3	-	-	14	-
April	+8,4	+7,6	-0,6	-	-	4	-
Mai	13,2	13,1	-0,1	1	-	-	-
Juni	16,6	15,7	-0,9	10	-	-	-
Juli	18,2	19,1	+0,9	17	1	-	-
August	17,1	19,1	+2,0	19	5	-	-
September	13,7	15,7	+2,0	8	-	-	-

Fortsetzung von Tab. 66a

Monat	Niederschlag (langjährig) in mm	Niederschlag 1975 in mm	Schneefall- tage	Schneedecken- tage	Schnee- u. Regentage	heitere Tage	trübe Tage
Oktober 1974	53	116	-	-	2	-	23
November	46	53	-	-	2	-	20
Dezember	49	113	1	4	6	1	22
Januar 1975	51	54	-	1	5	-	18
Februar	43	15	-	-	2	11	7
März	37	25	1	3	5	2	12
April	41	34	1	2	5	2	14
Mai	62	37	-	-	-	5	10
Juni	73	158	-	-	-	3	12
Juli	83	34	-	-	-	2	6
August	69	43	-	-	-	10	8
September	51	26	-	-	-	4	8

menge der Quelle bei Roßdach etwa zwanzig Tage später bemerkbar machte (vgl. Abb. 39). Die Gesamtzahl der sonnigen Stunden belief sich nur auf zwanzig bis sechsunddreißig; das entspricht lediglich 17 bis 30% des langjährigen Mittelwertes, wobei etwa die Hälfte des Monats überhaupt ohne einen Sonnenstrahl blieb; an der Wetterstation Bamberg wurden nur achtundzwanzig sonnige Stunden registriert.

Die ständige Zufuhr eines Kaltluftstromes bewirkte, daß der Oktober durchgehend zu kalt war, fast täglich Niederschläge auftraten und keine beständige Wetterlage zustande kam, wie es sonst im Oktober der Fall ist. Insgesamt gab es durch Föhneinwirkung nur zwei völlig trockene Tage am 17. und 18.10. mit sonnigem Wetter.

Nur drei- bis viermal wurden Höchsttemperaturen von 10 bis 13°C erreicht; sonst blieb die Temperatur stets unter der 10 Grad-Marke. Infolge der ständigen Bewölkung, die im ganzen eine relativ geringe Temperaturschwankung zwischen Tag und Nacht bewirkte, traten nur dreimal leichte Bodenfröste von maximal minus eins bis minus vier Grad auf.

Der November 1974 fiel insgesamt zu naß und zu mild aus, nur das erste Drittel war etwa zwei bis fünf Grad zu kalt. Die restlichen Tage dagegen standen im Zeichen einer sonnigen Föhnwetterlage mit zum Teil ergiebigen Niederschlägen. Dabei lagen die Temperaturen für die Jahreszeit etwa 2° bis 6° zu hoch, so daß im Monatsdurchschnitt die Quecksilbersäule auf 4,2°, d.h. um 0,4°C über dem langjährigen Mittelwert dieses Monats stand (vgl. Abb. 66a,b).

Einzelne Schneefälle gab es im Frankenraum nur zeitweise an den beiden ersten sowie den letzten fünf Novembertagen. Speziell im Untersuchungsgebiet wurden durch die Wetterstation Bamberg nur zwei Schnee- und

Regentage registriert. Sonst zeigte sich der Monat während der restlichen Tage keineswegs winterlich. Extreme Nachtfröste fehlten auch in diesem Monat, es wurden lediglich etwa jede zweite Nacht leichte Fröste gemeldet; lediglich zwischen dem 7. und 9.11. gingen die Temperaturen bei klarem Himmel in Bodennähe auf 4° bis 9°C unter Null zurück, so daß insgesamt neun Frosttage registriert wurden. Die höchsten Temperaturen wurden zwischen dem 13. und 18.11. mit täglich 10 bis sogar 15 Grad Wärme festgestellt.

Im nordbayrischen Raum waren im November 39 bis 77 Liter Niederschlag pro Quadratmeter zu verzeichnen, so daß der Monat durchwegs um 15 bis 70% zu naß ausfiel. Lediglich der Raum Nürnberg blieb mit nur 39 Litern Regen und Schnee pro Quadratmeter knapp unter dem langjährigen Durchschnittswert.

Mit nur dreißig bis vierzig Sonnenstunden im oberfränkischen Gebiet ergab sich ein Defizit von 15 bis 25% gegenüber den langjährigen Novemberwerten. Im Raum Nürnberg, wo mit sechsfünfzig Stunden Sonnenschein etwa die normalen Werte erreicht wurden, blieben trotzdem vier Tage ohne jeden Sonnenstrahl. In Oberfranken wurden im ganzen Monat zwanzig trübe, aber nur ein einziger heiterer Tag beobachtet.

Der Dezember verlief ausgeglichen bis zu warm. Trotz zwanzig trüber und nur eines heiteren Tages wies dieser Monat im ganzen mehr wärmere als kältere Tage auf, so daß der Monatsdurchschnitt mit $4,6^{\circ}\text{C}$ um $4,4^{\circ}$ über dem langjährigen Mittelwert lag. Zwei Höchsttemperaturen von $10,0^{\circ}$ bzw. $10,4^{\circ}$ über Null wurden am 3. und 9.12. registriert. Dagegen brachte die markante Kältewelle an der Wende von der zweiten zur dritten Dezemberwoche auch tagsüber leichten bis mäßigen Dauerfrost und in der Nacht zum 14.12. in ganz Nordbayern sehr strenge Fröste mit Tiefsttempera-

turen von minus 8,9 Grad. Während diese Kälteperiode nur drei Tage andauerte, kam der zweite, schwächere Wintereinbruch in der Zeit vom 21. bis 25.12. mit maximalen Tiefsttemperaturen von 4,5 Grad unter Null. Die Zahl der Frost- und Eistage belief sich auf insgesamt acht bzw. einen. Durch die Wetterstation bei Bamberg wurden die Höchsttemperaturen am 26. und 29.12. mit 13,4 und 12,3⁰ über Null am Erdboden gemessen.

Während der Weihnachtstage (21. bis 25.12.) mit Temperaturen unter und am 7. und 8.12. sogar um den Gefrierpunkt sorgten einzelne Störungen in Nordbayern für unbeständiges, trübes Wetter mit starker Bewölkung. Bis 1000 m üNN traten leichte Schneefälle auf. In Höhen von über 1000 m wurde gar starkes Schneetreiben registriert (am Ochsenkopf gab es eine Neuaufgabe von etwa 15 cm, in Pegnitz von 5 cm Schnee).

Charakteristisch für den Dezember war wieder wie im Oktober seine hohe Niederschlagsmenge von 113 mm, die sich, allerdings unregelmäßig, auf alle Tage mit Ausnahme vom 20. bis 23.12. verteilte. Vier Hochwasserperioden sorgten für einen zwei- bis dreimal wasserreicheren Monat als im Durchschnitt. Die erste und zugleich stärkste Hochwasserlage wurde bereits am 7.12. mit über 17,5 Liter Wasser pro Quadratmeter an einem einzigen Tag verzeichnet, wobei eine zweitägige Niederschlagsperiode vorausgegangen war. Nach dem zweiten Hochwasser mit 10,5 Litern am 12.12. erfolgte die dritte Periode mit nur 7,0 Liter Regen- und Schneefällen pro Quadratmeter. Die vierte Hochwasserperiode machte sich in Form eines Dauerregens bemerkbar, der vom 25. bis 28.12. insgesamt 18 Liter Wasser pro Quadratmeter lieferte. Diese vier aufeinanderfolgenden Hochwasserperioden verursachten eine rasche Steigerung der Schüttungsmenge aller Quellen,

wie sich deutlich aus den Abb. 36, 39 und 42 erkennen läßt. Auch der Grundwasserstand stieg in allen Versuchsbrunnen nach diesen regenreichen Tagen um ein bis sogar zwei Meter an (vgl. Kap. 11.2.). Diese rapide Erhöhung der Schüttungsmenge der Quellen und der auffallend große Anstieg des Grundwassers wurde dadurch verstärkt, daß zwei überdurchschnittlich starke Regenperioden mit jeweils über 110 mm Niederschlag eng zusammenfielen (Oktober und Dezember 1974). Der relativ niedrigere Niederschlag im Monat November konnte den Anstieg des Grundwasserstandes, sowie die Erhöhung der Schüttungsmenge der Quellen nicht beeinträchtigen, da dieser selbst, wie bereits erwähnt, im nordbayerischen Raum 15 bis sogar 70% zu naß ausfiel (vgl. Abb. 55, 60 und Abb. 65). Diese Niederschläge hatten nicht zuletzt deshalb eine so große Wirkung auf den Wasserhaushalt des Untersuchungsgebietes, da durch Lufttemperaturen von plus 2,5 bis 15°C von Oktober bis Dezember keine Bodenfröste das schnelle Versickern des Grundwassers beeinträchtigen konnten. Im gesamten Monat gab es mit zweiundzwanzig trüben und einem heiteren Tag nur rund dreißig sonnige Stunden, was in etwa auch dem langjährigen Durchschnitt für den Monat Dezember entspricht.

Etwas wärmer als der Dezember, zeitweise sogar extrem warm verlief der Januar 1975 ohne jegliche Kältewelle. In ganz Franken lagen die Temperaturen im Mittel um volle vier bis sechs Grad über der Norm und entsprachen Werten, wie sie sonst im März oder Oktober üblich sind. Der Monatsdurchschnitt lag damit mit +3,7°C etwa 4,9° über dem langjährigen Januarwert von 1,2 Grad unter Null.

Mit 54 bis 77 Liter Regen und Schnee pro Quadratmeter fiel der Januar örtlich zwischen 5 und 50% zu

naß aus, was im gesamten Monat 54 mm Niederschlag entspricht, 3 mm mehr als die langjährigen Messungen. Auch im Nürnberger Großraum wurde mit 65 Liter Niederschlag pro Quadratmeter ein 150%-iger Normwert registriert. Nur im Raum Coburg und Hof ergab sich mit 34 bis 46 Liter Regen und Schnee pro Quadratmeter diesmal ein Wasserdefizit von 20 bis 35 Prozent.

Insgesamt blieben nur acht bis zehn Tage völlig trocken; so stand nur die zweite Woche im Januar unter Hochdruckeinfluß mit sonniger und trockener Witterung und Tagestemperaturen von 4 bis 10,5 Grad Wärme (12.1.75). In der restlichen Zeit aber sorgten zahlreiche klimatische Störungen für häufige Regenfälle (vier bis fünf Tage), starke Bewölkung (achtzehn Tage) mit lebhaften Winden und trüber Witterung. Ein Schneedeckentag und zwei kurzzeitige Schneetage am 8. und 29.1. brachten sogar im Flachland Neuschnee von 1 bis 6 cm.

Meist wurden tagsüber zwei bis acht Grad, an vier Tagen (12., 18., 26. und 31.1.75) sogar 9,0 bis 12,4^oC Wärme gemessen. Nur in jeder zweiten Nacht stellten sich leichte Fröste von minus 1^o bis minus 4^oC ein und lediglich in drei bis vier Nächten konnten gebietsweise auch minus 4^o bis minus 9^o in Bodennähe registriert werden. Insgesamt wurden acht Frosttage aber kein einziger strenger Frosttag (unter 10^oC) gemessen.

In Franken blieben insgesamt dreizehn Januartage ganz ohne jeden Sonnenstrahl, worunter die gesamte erste Januarwoche fiel. Demgegenüber standen zehn sonnige Tage mit jeweils drei bis sieben Stunden Sonnenschein.

Der kürzeste Monat des Jahres mit nur achtundzwanzig Tagen zählte mit 159 Stunden zu den bisher sonnigsten Februarmonaten, da er fast doppelt soviel

Sonnenschein wie die langjährigen Werte zu verzeichnen hatte. Zwei markante Hochdruckperioden charakterisieren den Februar 1975 mit jeweils neun Tagen Dauer. Der Monat verlief erheblich zu trocken und $1,0^{\circ}$ bis $2,0^{\circ}$ zu warm, was im Vergleich mit den langjährigen Werten 1,3 Grad überdurchschnittlicher Wärme im Monat bedeutete (vgl. Abb. 66a,b).

Nur am Monatsbeginn und zwischen dem 13. und 19.2. kam es an zwei bis fünf Tagen zeitweise und örtlich zu etwas Regen oder auch einzelnen Schneefällen. Auch im Flachland stellte sich am 15./16., sowie am 19./20. gebietsweise nochmals eine sehr dünne Schneedecke ein. In der übrigen Zeit herrschte Hochdruckwetter mit täglich fünf bis zehn Stunden Sonnenschein und Höchsttemperaturen von vier bis zehn Grad über Null. In weiten Teilen Frankens wurden am 6., 12. und 28.2. sogar Höchstwerte von 11 bis 13°C im Schatten erzielt.

In den klaren kalten Nächten dagegen traten meist Fröste von -5° bis -10°C insgesamt zwanzigmal auf. So ergaben sich Temperaturschwankungen von rund 15°C zwischen Tag und Nacht. In den Morgenstunden stellten sich Reifglätte und gebietsweise auch Nebelfelder ein. Fast neunzehn Tage blieben völlig trocken. Mit nur 13 bis 23 Liter Regen und Schnee pro Quadratmeter, d.h. nur 25% bis 50% der üblichen langjährigen Normwerte, fiel der Monat in ganz Nordbayern und Franken beträchtlich zu trocken aus. Im südlicheren Gebiet konnte auch bis maximal die Hälfte der Normalmengen erreicht werden. Insgesamt wurden nur 15 mm Niederschläge gegenüber 43 mm im langjährigen Vergleich gemessen. Der geringe Niederschlag verursachte eine Abnahme der Ergiebigkeit der Quellen (vgl. Abb. 36, 39 und 42) sowie eine Senkung des Grundwasserspiegels (vgl. Abb. 55 und 60). Diese Entwicklung setzte sich bis zum Ende des Sommers stetig fort;

lediglich durch die starken Niederschläge im Juni erfuhr sie eine kurze Unterbrechung (Quelle bei Roßdach). Der überaus sonnige Monat führte in ganz Nordbayern zu Rekordwerten von 135 bis 159 Stunden Sonnenschein, was etwa der doppelten Menge des Normalfalles entspricht. Neunzehn sonnenreichen Tagen mit jeweils vier bis zehn Stunden Sonnenschein standen dabei im Februar nur drei Tage ohne jeden Sonnenstrahl gegenüber. Trübe Tage gab es siebenmal, heitere elfmal.

Das schon im Februar herrschende und viele Wochen anhaltende sonnige Wetter setzte sich bis Mitte März 1975 fort. Vor allem das erste Märzdrittel zeigte sich in ganz Franken täglich mit Höchsttemperaturen von 11 bis 16°C und jeweils fünf bis neun Stunden Sonnenschein. In dieser Zeit lagen die Temperaturen im Raum Bamberg um 0,3°C über dem Durchschnitt, wobei der maximale Wert am 9.3.75 mit 15,4°C gemessen wurde. Das plötzliche Eintreten der Kältewelle verursachte Regen- und Schneefälle, sowie mäßige Nachtfroste; in ganz Franken traten vom 17. bis 19. März nochmals 1 bis 5 cm Neuschnee auf. Vierzehn Frosttage und kalte Nächte bis zu -6,1°C (am 22.3.) sind deutliche Zeichen für einen ziemlich spät einsetzenden Wintereinbruch.

Nur einmal stellte sich in den beiden letzten Märzwochen, die rund 3°C bis 5°C zu kalt verliefen, ein dreitägiges Hochdruckwetter mit täglich neun bis zehn Stunden Sonnenschein ein (21. bis 23.3.). Es wurden im Bereich der trocken-kalten Luft tagsüber 6°C bis 9°C über Null, nachts dagegen in Bodennähe Fröste von -5°C und mehr registriert.

Im Temperaturmonatsmittel fiel der März 1975 nahezu normal bzw. etwas zu warm aus, da sich die Werte der ersten zu warmen und der zweiten zu kalten Monats-

hälfte ausglich.

Mit 37 bis 48 Liter Regen und Schnee pro Quadratmeter wurden in Nordbayern die Normalwerte meist gerade noch erreicht. Im südlicheren Bereich, z.B. im Raum Bamberg oder Nürnberg lag die normale Menge dagegen bis zu einem Drittel niedriger. Mit 25 mm Regen- und Schneefall weist die Niederschlagshöhe einen um 12 mm geringeren als den langjährigen Wert von 37 mm auf. Den im ganzen Monat mit etwa 117 errechneten sonnigen Stunden standen bis zum Ende des Monats vierzehn Frost- und zwölf trübe Tage gegenüber, die sich auf die erste und zweite Monatshälfte aufteilten.

Als Fortsetzung des verspäteten Wintereinbruches zeigte sich der Monat April 1975 in seiner ersten Hälfte fast täglich mit Regen- und Schneefällen, sowie unfreundlicher, wechselhafter und kalter Witterung. Im Durchschnitt lagen die Temperaturen 1 bis 4°C unter der Norm, wobei im Raum Bamberg mit 7,6° rund 0,6° unter den langjährigen Werten gemessen wurden. Durch die anhaltende Zufuhr von Kaltluft aus nördlicher Richtung wurden in dieser Zeit tagsüber meist nur 4° bis 8°C über Null erreicht und nachts Bodenfröste von -1 bis -7°C verzeichnet. Insgesamt wurden im April vier Frosttage aber kein Eistag beobachtet. Während zweier Schneedeckentage und eines Schneefalltages fielen sogar im Flachland nochmals einige Zentimeter Schnee. Ein mit Gewittern, Hagel, wolkenbruchartigen Regenfällen und Sturmböen von 70 bis 90 km/h (= Windstärke 8 bis 10) verbundenes Unwetter überquerte am Abend des 15.4. und in der folgenden Nacht ganz Franken und richtete gebietsweise beträchtlichen Sachschaden an. Eine völlige Umstellung der Großwetterlage zu sonnigem, freundlichem und ziemlich warmem Frühlingswetter

erfolgte am 18. April. Bei täglich sieben bis zwölf Stunden Sonnenschein stiegen die Temperaturen plötzlich auf 15° bis 20°C über Null an. Allerdings kam es in klaren Nächten mitunter noch zu leichten Bodenfrost. Mit 22 bis 24°C wurden am 29.4. die höchsten Temperaturen des Monats erzielt. Nach der erheblich zu kalten ersten Aprilhälfte verliefen die letzten beiden Aprilwochen durchschnittlich 2 bis 4 Grad zu warm. Im Wetteramt Bamberg wurden im Monatsdurchschnitt Temperaturen von $7,6^{\circ}$ über Null gemessen, was allerdings $0,6^{\circ}$ weniger als die langjährige Mitteltemperatur bedeutet.

Im Großraum Bamberg-Erlangen-Nürnberg fiel der April mit 35 Liter Regen und Schnee pro Quadratmeter rund 10 bis 20% zu trocken aus, d.h. nur ca. 85% der langjährigen Niederschlagsmenge wurden erreicht. Insgesamt blieben dreizehn bis vierzehn Tage völlig trocken. In bezug auf Sonnenschein ergab sich im fränkischen Raum mit durchschnittlich 130 bis 160 sonnigen Stunden ein Defizit von 15 bis 30%, das allerdings erst nach dem 17. April zu verzeichnen war. Dabei wurden z.B. im Raum Nürnberg 153 und in Coburg 159 Stunden Sonnenschein registriert.

In meist nur zwei- bis dreitägiger Wechselfolge gab es in den ersten beiden Maiwochen sonnig-warme und freundliche Wetterabschnitte, sowie empfindliche Kälte, Regenfälle und Gewitterstörungen. Dadurch kam es häufig zu starken Temperaturschwankungen von rund 10° bis 15° . Warmes Frühlingswetter mit täglichen Höchsttemperaturen von 20 bis 25 Grad, sowie jeweils acht bis zwölf Stunden Sonnenschein stellten sich in Franken vom 13. bis 24. und am 28. und 29. Mai ein. Am 18. Mai wurden in ganz Nordbayern mit 27° bis 28°C im Schatten die maximalen Temperaturen des ganzen Monats registriert. Lediglich am Morgen des 13.5.

wurden nach klarer Nacht in Franken und in der Oberpfalz Bodenfröste von -1° bis -3°C gemessen, wobei im Raum Bamberg kein Frost festzustellen war.

An fünfzehn Maitagen zeigte die Quecksilbersäule Höchsttemperaturen von 20° bis 25°C an. An drei bis vier Tagen wurden sogar Höchstwerte von 25 bis 28°C erreicht. Demgegenüber standen allerdings auch acht Tage, an denen tagsüber maximal 8 bis 15°C erreicht wurden. Insgesamt trat im Mai eine Mitteltemperatur von $13,1^{\circ}\text{C}$ auf, die in etwa dem langjährig ermittelten Wert von $13,2^{\circ}\text{C}$ entspricht.

An sieben bis elf Tagen traten Gewitter auf. Diese waren gebietsweise von wolkenbruchartigen Regenfällen, Hagel, Graupel und starken Windböen begleitet. Nach dem starken Gewitter am 8. Mai in Mittelfranken wurden im Großraum Nürnberg rund 40 bis 45 Liter Regen pro Quadratmeter registriert, was zu erheblichen Überschwemmungen, besonders in Wohngebieten führte. Die oberen Teile Frankens wurden dagegen von den mehrmaligen Gewittergüssen wenig in Mitleidenschaft gezogen, so daß im ganzen nach siebzehn trockenen Maitagen nur 37 mm Regen- und Schneefälle registriert wurden, was etwa einem Defizit von über 40% der Mai-Normalwerte entspricht.

Die nordbayrischen Wetterämter verzeichneten 200 bis 220 Stunden Sonnenschein, was ein geringes Defizit von 5 bis 10% gegenüber dem langjährigen Mittelwert darstellt. Immerhin gab es insgesamt zwanzig Maitage in Franken mit jeweils sieben bis zwölf Stunden Sonnenschein. Ganz ohne jeden Sonnenstrahl blieben drei Tage, weitere fünf Tage waren heiter und zehn trübe.

Wie die Maitage so standen auch die Witterungsverhältnisse im Juni im Zeichen starker Temperaturschwankungen. Im Abstand von meist nur vier bis fünf Tagen wechselten immer wieder sehr kalte, regenreiche

Abschnitte mit ziemlich warmen, sonnigen Hochdruckwetterlagen und starke Schwüle mit Gewittern ab. So erfolgte im Juni dreimal ein rapider Temperatursturz von rund 15°C um die Monatsmitte und in den letzten Junitagen.

Mit zehn bis zwölf Gewittertagen, die nicht selten zu großen Überflutungen führten, war der Juni im Vergleich zu den früheren Jahren sehr gewitterreich. Durchschnittlich an jedem zweiten Tag zeigte das Barometer mehr als 20° Wärme an. In Franken gab es zehn bis zwölf richtige Sommertage mit Höchsttemperaturen von 25 bis 29° im Schatten, aber keinen einzigen Tropentag (vgl. Abb. 66a,b). Demgegenüber standen allerdings auch empfindlich kalte Junitage, an denen maximal nur 12° bis 16°C über Null erreicht wurden. Insgesamt fiel der Juni zu naß und im Durchschnitt um $0,6^{\circ}$ bis $1,4^{\circ}$ zu kalt aus. Die letzten drei Junitage verliefen nach einem kräftigen Temperatur- und Wettersturz sehr kühl und regenreich. So lag das Temperaturmittel zu Monatsbeginn und Ende Juni um volle 4 bis 6 Grad unter der Norm.

Zu starken und ergiebigen Regenfällen kam es besonders in der zweiten Monatshälfte. Allein am 17./18.6. gingen in Nordbayern innerhalb von sechsunddreißig Stunden gröstenteils 30 bis 50 Liter Regen pro Quadratmeter nieder, d.h. mehr als die Hälfte der normalen Juni-Sollmenge. Während der Gewittertage vom 21. bis 24.6. fielen z.B. im Großraum Nürnberg 40 Liter, bei dem schweren Wolkenbruch in Bamberg am 24.6. sogar 72 Liter Niederschlag pro Quadratmeter (langjähriger Monatsdurchschnitt 73 Liter). Infolge der starken Unwetter verzeichnete der Raum zwischen Nürnberg und Bamberg mit 146 bis 158 mm Regen rund doppelt so viel Niederschlag wie nach langjährigen Beobachtungen zu erwarten gewesen wäre.

Insgesamt blieben zehn bis zwölf Junitage völlig trok-

ken. Im Hinblick auf Sonnenschein verzeichnete nur die Wetterwarte Bamberg mit 220 sonnigen Stunden einen kleinen Überschuß von rund 10%. Ansonsten wurden in den übrigen Landesteilen meist 180 bis 210 Stunden Sonnenschein registriert, was ein 5 bis 17%-iges Defizit bedeutete. Ohne jeden Sonnenstrahl blieben zwei Junitage. Nur ein bis zwei sonnige Stunden wurden an acht Tagen, acht bis vierzehn sonnige Stunden dagegen an fünfzehn bis siebzehn Tagen verzeichnet. Obgleich im Monat Juni an sich genügend Niederschläge fielen, verzeichneten die Quellen des Untersuchungsgebietes keinen entsprechenden Anstieg ihrer Schüttungen, ein Phänomen, das auch in den folgenden Sommermonaten beobachtet wurde. Schuld an dieser Erscheinung war der hohe Temperatur-Monatsdurchschnitt, der dazu führte, daß ein großer Teil des Niederschlages bereits verdunstete, bevor er in den Boden einsickern konnte.

Der Juli stand im Zeichen hochsommerlicher Temperaturen und fiel im ganzen zu trocken aus. Im Bamberger Raum wurden siebzehn Sommertage mit Höchsttemperaturen von 25° bis 30°C und ein Tropentag mit 32°C gemessen. Insgesamt war der Juli im Durchschnitt um 0,5 bis 2°C zu warm. Rund zwei Drittel aller Julitage verliefen im Durchschnitt 1 bis 5 Grad zu warm, der Rest 1 bis 4 Grad zu kalt. Dabei gab es nur drei bis vier kühle und regnerische Tage, an denen auch nachmittags lediglich 14° bis 18°C erreicht wurden. An zehn bis vierzehn Tagen traten Gewitter mit oft schweren wolkenbruchartigen Regenfällen auf, so z.B. am 5. und 6. Juli im Erlanger und Laufer Gebiet mit rund 40 Liter Regenwasser pro Quadratmeter. Rund die Hälfte aller Julitage blieb trocken. Besonders trocken verlief der Juli in Mittel- und Unterfranken, wo mit 30 bis 45 Liter Regen pro Quadratmeter nur ein

Drittel bis zwei Drittel der sonst üblichen Normalwerte erreicht wurden.

Als wärmster Tag des Monats wurde der 14. Juli mit $32,4^{\circ}\text{C}$ in ganz Franken neben neunzehn Sommertagen vom Bamberger Wetteramt registriert, wobei zwei heitere und sechs trübe Tage auftraten.

Mit 230 bis 266 Stunden Sonnenschein konnten die nordbayrischen Wetterstationen einen kleinen Überschuß von 3 bis 11% an sonnigen Stunden feststellen. Fast ganz ohne jeden Sonnenstrahl blieben nur die ersten beiden kühlen und regnerischen Julitage. An acht weiteren Tagen vermochte die Sonne jeweils nur für drei bis fünf Stunden die Wolkendecke zu durchdringen.

In der ersten Augusthälfte wurden in ganz Franken jeden Tag Höchsttemperaturen von 25 bis 32°C im Schatten gemessen. Vor allem die ersten zehn heißen, trockenen und störungsfreien Augusttage boten reichlich Sonnenschein von jeweils elf- bis zwölf-stündiger Dauer. Erwartungsgemäß verlief die zweite Augusthälfte etwas wechselhafter und brachte neben mehreren warmen und sonnigen Tagen auch einen viertägigen empfindlich kalten Schlechtwetterabschnitt (23. bis 26.8.) mit Dauerregenfällen von durchschnittlich 20 bis 40 Liter pro Quadratmeter und Temperaturen von 12 bis 17°C über Null. Insgesamt fiel der August im Durchschnitt mit $19,1^{\circ}\text{C}$ um $1,5$ bis $2,5^{\circ}\text{C}$ in Nordbayern und Franken erheblich zu warm aus. In ganz Franken wurden meist achtzehn bis zwanzig richtige Sommertage mit mehr als 25°C registriert, außerdem wurden fünf Tropentage mit Temperaturen von mehr als 30°C über Null im Schatten beobachtet. Die höchsten Temperaturen Frankens wurden am 10. August mit $31,1^{\circ}\text{C}$ in Nürnberg gemessen.

In Hinsicht auf Sonnenschein konnten die nordbayrischen Wetterämter mit 222 bis 247 sonnigen Stunden im

August einen erfreulichen Überschuß von 5 bis 25% gegenüber den langjährigen Durchschnittswerten erzielen. Im Raum Erlangen und Nürnberg wurden insgesamt achtzehn und im Gebiet Bamberg neunzehn sonnige Augusttage mit jeweils zehn bis vierzehn Stunden Sonnenschein registriert. Nur vier Tage blieben dagegen ohne jeden Sonnenstrahl.

In großen Teilen Nordbayerns war der August mit 84 bis 122 Liter Niederschlag pro Quadratmeter 15 bis 65% zu naß, was allerdings zum Teil auf einige starke Gewittertage zurückzuführen war. Nur im Raum Nürnberg und Bamberg ergab sich bei 61 bis 43 Liter Regen pro Quadratmeter ein Defizit von 10 bis 40% gegenüber dem langjährigen Durchschnittswert.

Als letzter Untersuchungsmonat verlief der September erheblich zu warm, reich an Sonnenschein und zu trocken. Vor allem die zweite Monatshälfte zeigte fast täglich sechs bis zehn Stunden Sonne. Im Durchschnitt war der September mit $15,7^{\circ}\text{C}$ rund $2,0$ Grad wärmer als der Mittelwert (Abb. 66a,b). An fünfundzwanzig Tagen dieses Monats wurden Temperaturen von mehr als 20 Grad über Null gemessen. In Franken konnten sogar acht bis neun Sommertage mit Höchsttemperaturen von 25° bis 30°C beobachtet werden, was im Vergleich zum normalen Monatsmittel mehr als das Doppelte bedeutet. Im Gegensatz zu den üblichen Beobachtungen zeigte das letzte Septemberdrittel keine Nachtfröste.

Der zu trockene Monat brachte in Mittelfranken mit nur 25 bis 31 Liter Regen pro Quadratmeter meist nur 45 bis 70% des üblich gemessenen Septembersolls. Im Gegensatz zu den mittelfränkischen Trockengebieten wie Bamberg (26 Liter) oder Nürnberg (34 Liter Regen) wurde in Ober- und Unterfranken mit 45 bis 55 Liter Regen pro Quadratmeter die Norm meist 80 bis 100%-ig

erreicht. Auch die Gewittertage der ersten Septemberwoche und vom 11. bis 15.9. konnten die gesamten Durchschnittswerte nicht wesentlich verändern, da insgesamt fünfzehn bis siebzehn Tage ganz trocken blieben.

Mit 160 bis 190 Stunden Sonnenschein konnten die nordbayrischen Wetterämter wieder einen kleinen Überschuß von 5 bis 20% an Sonnenstunden registrieren. Der Raum Nürnberg stand mit 189 sonnigen Stunden an der Spitze. Die Wetterämter Nürnberg und Bamberg registrierten zwanzig Septembertage mit täglich sechs bis zehn Stunden Sonnenschein. Demgegenüber standen lediglich vier Tage mit nur ein bis zwei Sonnenstunden. So wie der Monat begonnen hatte, endete er mit drei hochsommerlich warmen Tagen und Temperaturen bis zu 27°C im Schatten. Sogar auf der Zugspitze wurden dabei noch 10°C Wärme gemessen. Die Anfang des Monats dort noch liegende 70 cm hohe Schneedecke taute unter diesen Bedingungen bis zum Monatsende fast völlig wieder ab.

Insgesamt wurden in dem Untersuchungsjahr von Oktober 1974 bis zum September 1975 während 160 trüben, einundvierzig heiteren, fünfundfünfzig Sommer- und sechsundsechzig Frosttagen 708 mm Niederschlag in Form von Schnee- und Regenfällen gemessen, was im Vergleich zu dem durchschnittlichen Meßwert der letzten dreißig Jahre von 658 mm eine beträchtliche Steigerung von 50 mm Niederschlagshöhe bedeutete (vgl. Abb. 66a,b). Bodenfrost bis in eine Tiefe von 20 cm wurde innerhalb der letzten Jahre nur im Januar 1973 insgesamt neunundzwanzigmal und im Dezember desselben Jahres dreimal gemessen. Während der übrigen Zeit gab es nur zeitweise Bodenfröste.

13. Zusammenfassung und Ergebnisse

1. Das Arbeitsgebiet umfaßt eine rund 500 km² große Ebene im nördlichen Regnitztal zwischen Eggolsheim und Hallstadt. Geologisch betrachtet reicht dieses Gebiet vom Sandsteinkeuper bis einschließlich zum Unteren Malm, wobei die älteren Schichten hauptsächlich den westlichen und die Jura-Ablagerungen den östlichen Teil bilden. Das quartäre Regnitztal fungiert als ungefähre stratigraphische Grenze zwischen Trias und Jura.

2. Der Untere Burgsandstein verkörpert die älteste geologische Einheit im äußersten Westen des Gebietes. Es handelt sich dabei um fein- bis grobkörnigen karbonatischen Sandstein, der ähnlich wie der Mittlere Burgsandstein auch dolomitisch auftreten kann. Der Obere Burgsandstein ist infolge seiner vorwiegend sandigen Ausbildung ein relativ guter Wasserleiter, ganz im Gegensatz zu dem wegen seiner mergeligen Knollen auch Knollenmergel genannten roten Feuerletten. Das oberste Glied in den Keuperablagerungen stellen die grobsandigen, leicht tonhaltigen Rhätolias-Übergangsschichten dar. Sie wurden in jüngster Zeit auch in hydrologischer Hinsicht in Betracht gezogen, obwohl sie nur wenige Meter mächtig sein können.

3. Der Jura beginnt mit den mittel- bis grobkörnigen Sanden der Lias-Alpha-Schichten, deren Obergrenze durch den tonigen, mergeligen Lias-Beta sehr gut zu erkennen ist. Dagegen sind diese Beta-Schichten von den Lias-Delta Ablagerungen schwieriger zu unterscheiden, denn sie bestehen, ähnlich wie die Beta-Schichten, aus mächtigen tonigen Mergelschiefern, die gelegentlich große Phosphoritknollen führen. Auch die darüberfolgenden Epsilon- und Zeta-Schichten bestehen aus Kalkmergelschiefern, die oft zwei bis sechs bituminöse oolithische

(Stink-) Kalkbänke mit Versteinerungen an der Oberfläche aufweisen.

4. Der Dogger beginnt mit dem über 80 m starken wasserstauenden, kalkarmen Opalinuston, der besonders in seinem oberen Teil reichlich Gipskristalle und Toneisensteinknollen führt. Diese sind allerdings nicht mit den Eisenkonkretionen der Dogger-Beta-Schichten zu verwechseln. Solche Konkretionen finden sich innerhalb der 80 bis 120 m mächtigen Beta-Ablagerungen und verursachen zusammen mit dem Eisen der drei Flöze, die in der oberen Hälfte dieses Schichtpakets vorhanden sind, eisenhaltige Quellen, die an der Grenze zum Liegenden austreten. Die mittleren und oberen Dogger-Schichten bestehen hauptsächlich aus Kalksandstein, Mergeln und Schiefertonen, die allerdings nur als wasserstauender Horizont für die darüberliegenden Schichten des Malms dienen.

5. Der bis zu 300 m mächtige Malm besteht aus sogenanntem Frankendolomit, bzw. Schwammfazies und bildet eine Reihe von kleinen und großen Quellen in ganz Nordbayern. Nicht selten sind die gut bankigen und hellen Kalke verkarstet und bilden folglich auch Dolinen, die als natürliche Trichter für die Einleitung des Niederschlagswassers in die Tiefe dienen. Die Untergrenze der Verkarstung wird gelegentlich durch tonigen und mergeligen Untergrund, der zugleich einen undurchlässigen Horizont darstellt, gebildet. Das über diesem Horizont gestaute Wasser kann entweder als natürliche Quelle austreten, was meist der Fall ist, oder auch durch Tiefbrunnen wirtschaftlich genützt werden.

6. Eine geologisch sehr wichtige Einheit bildet das Quartär mit seinem Hauptverbreitungsgebiet im Regnitz-

tal und kleineren Vorkommen in den Tälern von Reicher und Rauher Ebrach, sowie in den ganz im Norden gelegenen Regnitz-Main- und Main-Terrassen. Nach ihrem Alter werden die quartären Ablagerungen in Vor-, Nieder- und Hochterrassen eingeteilt, die jeweils zwischen 5 und 12 m mächtig sein können. Für die sedimentpetrographischen Analysen wurden den Terrassensanden entlang des Regnitztales Proben entnommen und diese auf ihre Körnigkeit, sowie auf Schwermineralien untersucht, verglichen und parallelisiert. Dabei hat sich herausgestellt, daß zwischen 70 und 90 % des gesamten Materials bei den Vorterrassensanden eine Korngröße von 0,5 bis 1,0 mm, bei den Niederterrassensanden von 0,4 bis 1,0 mm, bei den Hochterrassensanden von 0,25 bis 1,0 mm und bei den Flugsandproben nur von 0,25 bis 0,5 mm Durchmesser aufweisen. Die Anzahl der entnommenen Sandproben für Flugsand, Vor-, Nieder- und Hochterrassen betrugen 4, 6, 10, und 3.

7. An Hand von Diagrammen, beruhend auf den unmittelbaren Schwermineralanalysen, konnte festgestellt werden, daß im Untersuchungsgebiet die höchsten Ansammlungen der Schwermineralien 90 bis 130 cm unterhalb der jeweiligen Oberfläche in den Sandlagen vorkommen, weshalb diese Tiefenlage im allgemeinen, soweit möglich, für alle Entnahmestellen eingehalten wurde.

8. Hinsichtlich der horizontalen Schwermineralführung in den Sandproben ist folgendes festzustellen: Granat und Apatit sind dominierende Mineralien. Ihre Ausbreitung verläuft umgekehrt proportional. Rutil und Turmalin, die eine parallelverlaufende Ausdehnung aufweisen, sind oft nur mit maximal 20 % vertreten. Während Zirkon völlig verschiedene Gehalte von 20 bis 60 %

annehmen kann, tritt Anatas mit nur rund 10 % und darunter auf.

9. In vertikaler Richtung zeigen die Sandlagen in etwa 4 m Tiefe einen Wendepunkt in schwermineralanalytischer Hinsicht. Während der Granatgehalt von einer Tiefe zwischen 7 und 4 m an kontinuierlich zunimmt, fällt der Apatitgehalt regelmäßig ab. Ab 4 m Tiefe bis fast 60 cm unter der Erdoberfläche ist das Verhältnis umgekehrt. Die Gehalte an Rutil, Turmalin und Anatas nehmen im allgemeinen nach oben hin ab, der Zirkongehalt bleibt aber fast konstant.

Mineralprovinzen bilden sich eindeutiger in den unteren Teilen mit oft zwei Hauptmineralien (Apatit und Granat), in oberen Teilen dagegen mit einer Assoziation von drei Mineralien mit zusätzlichen Rutil-Kristallen. Den übrigen nicht genannten Nebengruppen der Schwermineralien eine Bedeutung beizumessen, erwies sich als nicht nötig.

10. Hydrologisch betrachtet wird das Gebiet zwischen Franken-Alb im Osten und Steigerwald, in dessen Umgebung die westlichen Flüsse ihre Hauptquellen haben, im Westen, in vier hydrologische Großräume eingeteilt: Ganz im Osten gehört das Wasser dem Juraland mit seinen nur zum Teil ergiebigen Quellen in Dogger und Malm an. Das Regnitztal und die westlich davon gelegene 7 bis 15 km breite Zone stellt den zweiten hydrologischen Raum mit mäßig bis gut erschließbaren Quellen oder Brunnen dar, deren Ergiebigkeit auch von der Mächtigkeit des Grundwasserleiters abhängt. Als Wasserspender sind Regnitzquartär, sowie Sandsteinkeuper festzustellen. Noch weiter westlich, wo der Sandsteinkeuper eine Mächtigkeit von 5 bis 50 m erreicht, liegt der dritte hydrologische Raum des Untersuchungsgebietes, wo die Quellen geringe bis sehr geringe Er-

giebigkeit aufweisen. Eine Wassererschließung mit geringen Mengen ist noch im Schilfsandstein möglich. Westlich von diesem Bereich bis zum Steigerwald, im vierten hydrologischen Raum, sind die Quellen sehr wenig ergiebig und treten nur an der Grenze zwischen Lehrbergsschichten und Sandsteinkeuper auf, wo sie bestenfalls für den regionalen Bedarf ausreichend sind.

11. Als wasserführende Schichten kommen von Westen nach Osten alle Sandsteine des Keupers (hier vom Schilfsandstein an), Lias-Alpha, Doggersandstein, sowie Malmkalke in Frage. Die wasserstauenden Schichten werden im Keuper durch große Teile der Estherien- und Lehrberg-Schichten, sowie des Feuerletten, im Jura durch die mächtigen Amaltheentone des Lias (rund 40 m), sowie Opalinus- und Ornatentone des Doggers mit 80 bzw. 12 m repräsentiert.

12. Die aus Schilf- und Keupersandstein stammenden Gewässer versorgen im wesentlichen die Flüsse im Westen, wie Aurach, Reiche und Rauhe Ebrach. Die Rhätolias-Schichten spielen in diesem Zusammenhang eine untergeordnete Rolle. Die im Ostteil des Untersuchungsgebietes fließenden Gewässer beziehen hauptsächlich Doggersandstein- und Malmwasser. Oft finden auch Tiefbohrungen bis auf den Sandsteinkeuper und Rhätolias für die örtliche Wasserversorgung große Bedeutung.

13. Unter Berücksichtigung der Lage, Art und Stratigraphie wurden insgesamt neununddreißig Wasserproben in wöchentlichen Abständen ein ganzes Jahr lang hydrochemisch und physikalisch untersucht. Es wurden einundzwanzig Proben Flußwasser, drei aus Keuper-, zwei aus Lias-, fünf aus Dogger- und zwei aus Malm-Quellen ausgesucht. Außerdem sind drei Proben von offenem

Grundwasser und drei von Malm-Brunnenwasser an den regelmäßigen hydrochemischen Untersuchungen beteiligt. Zusätzlich wurden drei Quellen für Schüttungsmessungen, dreizehn Versuchsbohrungen zur Ermittlung des Grundwasserstandes, sowie ein Pegel für die Abflußbestimmung für diese hydrologische Arbeit zu Hilfe genommen. Um ein möglichst genaues Bild über die klimatologischen Verhältnisse in diesem Raum und dessen Umgebung zu geben, wurden die Witterungsdaten der letzten drei Jahre gesammelt, wobei das Untersuchungsjahr besonders ausführlich Berücksichtigung fand.

14. Die hydrologischen Untersuchungen erfolgten sowohl direkt im Arbeitsgebiet als auch im Labor. Zu den Beobachtungen und Bestimmungen am Ort gehörten u.a. Trübung, Geschmack, Farbe, Geruch, natürlicher Verlauf, Fließgeschwindigkeit, Dichte, Einzugsgebiete der Flüsse, ferner pH-Wert, Sauerstoffgehalt und elektrische Leitfähigkeit, die instrumentell ermittelt wurden. Die hydrochemischen Analysen im Labor erfolgten entweder halbquantitativ (wie z.B. $\text{Fe}^{2/3}$ -, NO^{2-} -, PO_4^{3-} - und SiO_2 -Bestimmungen oder vollanalytisch durch Titration, z.B. bei Calcium-, Magnesium-, Chlorid-, Sulfat-, Gesamthärte-, Karbonat- und Nichtkarbonathärte-Bestimmungen, außerdem bei Ermittlung des Gehaltes der organischen Substanzen im Wasser, sowie des m-Wertes, durch den die gebundenen und freien Kohlendioxid bzw. Hydrogenkarbonat-Ionen im Wasser festgestellt werden.

15. Unter den halbquantitativ analysierten Substanzen ist nur Silicium in allen, und Gesamteisen in den meisten Proben vertreten. Nitrit ist zusammen mit Phosphat und Chlorid ein ausgezeichneter Verunreinigungsindikator; die Ausbreitung und insbesondere die monatlichen Veränderungen des Gehaltes dieser drei Stoffe

laufen parallel, wobei die im Osten fließenden Gewässer stets einen niedrigeren Verunreinigungsgrad aufweisen als im Westteil.

16. Unter den instrumentell ermittelten Komponenten schwanken die pH-Werte, im ganzen Jahr betrachtet, zwischen 7,1 und 8,8 in den westlichen und 7,5 und 8,4 in den östlichen Gewässern.

Im Jahresdurchschnitt zeigen die vier im Ostteil fließenden Bäche zusammen einen pH-Wert von 8,0, während die westlichen Flüsse nur einen pH-Wert von 7,85 aufweisen, wobei die Rauhe Ebrach den absolut höchsten (8,4) und die Aurach mit 7,4 den niedrigsten Wert besitzt. Unter den Quellen zeigt als einzige die eisenhaltige Lias-Quelle bei Seigendorf einen schwach sauren Charakter (pH-Wert = 6,8), während die Geisfelder Quelle mit derselben stratigraphischen Position fast neutrales Wasser liefert.

Die etwas ausgeglicheneren Werte der elektrischen Leitfähigkeit liegen zwischen 350 und 550 Mikro-Siemens, wobei auch hier die östlichen Proben rund 100 Einheiten weniger aufweisen als die westlichen. Die zwei Lias-Quellen mit 892 und 988 Mikro-Siemens (beide im Ostteil) bilden eine Ausnahme.

Die dritte Komponente, der Sauerstoffgehalt, liegt im Jahresdurchschnitt zwischen 8,4 und 9,6, wobei die im Keuperland fließenden Gewässer wegen der längeren zu überwindenden Strecken dem Luftsauerstoff besser angegliche Werte aufweisen. Die niedrigsten Werte zeigen wiederum die Lias-Quellen mit nur 2,60 ppm im Jahresdurchschnitt. Daß der Sauerstoffgehalt dieser Quellen stark von der Außenwelt abhängig ist, zeigt sich dadurch, daß im Monat Februar die niedrigsten Niederschlagsmengen des Jahres auch den niedrigsten Sauerstoffgehalt mit nur 0,3 ppm bewirkten und im Juni, dem Monat mit den höchsten Niederschlägen jedoch

6,1 ppm gemessen wurden.

17. Aus einem gleichzeitigen Vergleich der Härtegrade aller fließenden Gewässer ging hervor, daß die aus dem Keuper stammenden Flüsse eine höhere Nichtkarbonat- (Sulfat-) Härte - bis zu 20 dH^o - aufweisen als die Bäche, deren Wässer im wesentlichen aus Malm und Dogger-Quellen gespeist werden, wobei die letztgenannten naturgemäß einen höheren Calciumgehalt aufweisen. Die Sulfatgehalte der westlichen Flüsse liegen, da sie aus Keuper-Schichten stammen, im Jahresdurchschnitt bis zu 25 ppm höher als die Malm- und Dogger-Quellen bzw. -Bäche. Große Ausnahmen machen wiederum die Lias-Quellen mit zwei- bis viermal höherem Ca-, Mg- und SO₄-Gehalt.

18. Unter den chemischen Stoffen, die allgemein als Verunreinigungsindikatoren betrachtet werden, kommen Chloride, Nitrite und Phosphate, sowie in geringem Maße auch organische Substanzen in Frage. Die Entwicklung dieser Stoffe verlief im gesamten Untersuchungsjahr auffallend parallel, was darauf schließen läßt, daß die Erhöhung des Anteils dieser Stoffe viel mehr auf menschliche oder tierische Verschmutzung als auf geologische Ursachen zurückzuführen ist. Die Gewässer im Westteil erreichen den maximalen Anteil an Verunreinigungsstoffen im November 1974, sowie im Frühsommer 1975, die Bäche des östlichen Teilgebietes dagegen nur in den Monaten Mai und Juni 1975, wobei die letztgenannte Gruppe stets einen niedrigeren Gehalt an derartigen gelösten Ionen aufweist als die westlichen Flüsse. Extrem hohen Phosphat-, Chlorid- und Nitritgehalt zeigen alle Oberflächengewässer des östlichen und westlichen Regnitztales im September, während der Wintermonate (Dezember bis April) dagegen nehmen die gelösten chemischen Verbindungen in allen

Gewässern sehr stark ab. Das am stärksten verschmutzte Wasser führen die Reiche Ebrach und die Meßstellen Geisfeld und Wildensorg, abgesehen von dem kleinen, Huminwasser führenden Bach bei Untergreuth.

19. Unter Berücksichtigung aller chemischen und physikalischen Eigenschaften werden die drei westlichen Flüsse als $\text{Ca-Mg-SO}_4\text{-Cl}$ -Gewässer bezeichnet. Die vier im Ostteil des Regnitztales fließenden Bäche führen dagegen nur $\text{Ca-SO}_4\text{-Cl}$ -Wasser, deren Magnesiumgehalt wegen des primären Fehlens im Gestein nur eine untergeordnete Bedeutung beigemessen werden darf.

20. In bezug auf die Wassergüte werden alle vier Bäche des östlichen Teilgebietes zusammen mit Aurach und Rauhen Ebrach (ohne Mittel-Ebrach) als mäßig belastet bezeichnet (Güteklasse II). Dagegen führt die Reiche Ebrach fast in ihrem gesamten Verlauf ein kritisch belastetes bis stark verschmutztes Wasser (Güteklasse II/III bzw. III). Die Mittel-Ebrach zeigt dagegen zwischen den Hauptquellen und der Einmündungsstelle einen mäßig belasteten bis stark verschmutzten Zustand (Güteklasse II, II/III und III).

21. Während die monatlichen Schwankungen von Gesamthärte, elektrischer Leitfähigkeit und Chlorid parallel verlaufen, zeigen die Sauerstoffgehalte einen umgekehrten Verlauf mit den drei genannten Komponenten, speziell aber mit den Lufttemperaturen. Die elektrische Leitfähigkeit ist direkt zu den im Wasser gelösten Ionen aller Art proportional, d.h. je höher der Anteil der Salze in der Lösung, desto höher auch die elektrische Leitfähigkeit.

Interessant ist auch die Entwicklung des Wasserstandes und dessen umgekehrte Proportionalität mit Gesamthärte, elektrischer Leitfähigkeit und Chlorid. Außerdem wurde

gezeigt, daß die Zunahme der Wassertemperatur einer starken Abnahme des Sauerstoffgehaltes bis über 80 % gegenübersteht, so daß im Winter Werte von ca. 10 ppm, im Sommer dagegen von nur 2 oder 3 ppm gemessen wurden.

22. Für die Keuperquellen des westlichen Regnitztales sind, abgesehen von ihrer niedrigen Ergiebigkeit, relativ hohe Sulfat-, Chlorid- und Eisengehalte charakteristisch. Als typisch für die Lias-Quellen, deren Wässer nur chemisch von Interesse sind, haben extrem hohe Sulfat-, Calcium-, Magnesium- und Nitritgehalte, dagegen ein nur mäßiger Anteil an Chlorid-Ionen zu gelten. Die relativ ergiebigen Doggerquellen zeichnen sich durch besonders niedrige Calcium, Magnesium und Gesamthärtegrade aus, wobei gelegentliches Vorkommen von Eisen-Verbindungen nicht zu übersehen ist. Die meisten Doggerquellen weisen eine periodische (zwei- bis fünfmonatige) Ergiebigkeit auf. Die Malmquellen zeigen durchwegs einen relativ hohen Calcium-, mäßigen Sulfat- und niedrigen Magnesiumgehalt, wobei die Schüttungsmengen dieser Quellen als gering bis mäßig, aber konstant zu bezeichnen sind.

Die dominierenden Quellentypen sind solche, die am Anschnitt eines Grundwasserleiters durch einen Taleinschnitt oder an durch Erosion herbeigeführten Endigungen des Wasserträgers als sog. absteigende Schichtquellen zutage treten. Als zweiter Quellentyp (z.B. die kleinen Keuperquellen im Westen und die Geisfelder Lias-Quelle im Osten des Gebietes) tritt das Wasser bei natürlichem Auskeilen des Wasserleiters als Folge der Verengung des Durchflußquerschnitts aus den wasserführenden Schichten als Quelle zutage.

23. Die Schüttungsgänge der drei Quellen bei Roßdach, Wiesenthau und Hohenmühle zeigen eine normale Verspätung von fünfzehn bis fünfundneunzig Tagen im

Hinblick auf die gemessenen Niederschläge, wie dies nach eingehender zweijähriger Auswertung ihrer Schüttungsdaten feststellbar ist. Die Schüttungsmengen der Quellen bei Roßdach, Wiesenethau und Hohenmühle beliefen sich im Abflußjahr 1974-75 auf rund 84,9, 1,0 und 9,2 Liter pro Sekunde; im Abflußjahr 1973-74 aber nur auf 62,0, 0,8 und 4,4 Liter pro Sekunde, was auf die relativ niedrigen Niederschläge dieses Zeitraumes zurückzuführen ist.

24. Der Grundwasserspiegel, ermittelt aus dreizehn Versuchsbohrungen, liegt im Ostteil zwischen 1,70 und 5,50 m, im Westteil zwischen 1,80 und 6,30 m unter dem jeweiligen Meßpunkt. Der Grundwasserstand liegt im Keuperland um rund 1,0 m über dem Wasserstand im Juraland, wobei alle im Südteil angelegten Brunnen einen rund 1,5 bis 2,5 m tieferen Grundwasserstand zeigen als im Nordteil. Die geringste Schwankungsbreite zeigt allerdings die Bohrung bei Bischberg mit nur 0,41 m im Jahr gegenüber dem etwas höheren Wert von 0,83 m bei Meßstation Strullendorf im Ostteil des Regnitztales.

Die Wasserstände der Brunnen, deren Wasser im wesentlichen aus der Regnitz stammt, reagieren deutlich weniger auf Niederschläge, sie zeigen also allgemein einen ausgeglicheneren Verlauf; so z.B. die Brunnen bei Strullendorf, Pettstadt, Bischberg und Hallstadt. Demgegenüber stehen solche Brunnen, deren Wasserstand mehr oder weniger rasch auf versickernden Niederschlag reagiert, wie z.B. Rattelsdorf, Pommersfelden, Siegritzau. Die hohen Grundwasserschwankungen fast unmittelbar nach jeder Regenperiode lassen sich bei diesen Meßstationen nur durch die lockeren, porigen Speichergesteine des quartären Untergrunds erklären: diese leiten das Niederschlagswasser sehr schnell in das Grundwasser und führen folglich zu einer sofortigen

gen Veränderung des Wasserstandes.

25. Unter Berücksichtigung aller dargestellten chemischen und physikalischen Gesichtspunkte sowie Geländebeobachtungen sind nun folgende Aussagen zu machen:

Während der westliche Abschnitt des nördlichen Regnitztales überwiegend mit Oberflächenwasser versorgt wird, muß im östlichen Teilgebiet hauptsächlich auf die wasserreicheren Brunnen und Quellen zurückgegriffen werden. In bezug auf die chemische Verunreinigung der Gewässer machen sich ebenfalls große Unterschiede bemerkbar, denn im Westen des Gebietes ist eine wesentlich größere Verschmutzung des Wassers zu beobachten, was darauf zurückzuführen ist, daß hier mehr und größere Ansiedlungen und Industriebetriebe anzutreffen sind als im Osten.

Im Regnitztal selbst herrscht trotz zahlreicher Brunnen, die seit Jahren die größeren Städte zum Teil versorgen, ein hohes Defizit an Wasser, was auf den großen Bedarf zurückzuführen ist. Daher muß zur Deckung des Wasserverbrauches dieser Zentren auf die ergiebigen Wasservorräte des Juragebietes zurückgegriffen werden, was dank deren chemischer Reinheit keine übermäßig hohen finanziellen Aufwendungen bei der Aufbereitung erfordert.

14. Literaturverzeichnis

- BAUMANN, H., SCHENDEL, U., MANN, G.: Wasserwirtschaft
in Stichworten. Kiel 1974.
- BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDESENTWICKLUNG
UND UMWELTFRAGEN: Wasserwirtschaftlicher
Rahmenplan Regnitz. München 1974.
Band I: Planung, Gutachten, Tabellen
Band II: Flußübersichten
Band III: Karten
Kurzfassung
- BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT: Erläuterung zur
geologischen Karte von Bayern 1:500.000
zweite Auflage. München 1964.
- BAYERISCHES STATISTISCHES LANDESAMT: Öffentliche
Wasserversorgung und öffentliches Abwasser-
wesen in Bayern im Jahre 1969, Heft 311.
München 1971.
- BIRZER, F.: Rutschneigung und Wasseraufnahme einiger
Tone. Geol. Bl. NO-Bayern Band 2,
Erlangen 1952.
- Der Ludwig-Donau-Main-Kanal, baugelologisch
betrachtet. Geol. Bl. NO-Bayern Band 1,
Erlangen 1951.
 - Bohrprofile aus dem Keuper im südlichen
Franken und der angrenzenden Oberpfalz,
Erlanger geol. Abh. 26. Erlangen 1958.
- BLOS, W.: Die Quellen der Fränkischen Schweiz,
Erlangen 1903.
- CHRIST, W. und KAEDING, J.: Zur titrimetrischen
Härtebestimmung mit dem Dinatriumsatz der
Äthylendiamintetraessigsäure, Wasserwirt-
schaft-Wassertechnik Heft 4, 1954.
- DEUTSCHE EINHEITSVERFAHREN zur Wasser-, Abwasser-
und Schlammuntersuchung, herausgegeben von
Fachgruppe Wasserchemie, Weinheim
3. Auflage 1965.

- FLEISCHER, L.: Die Verwendbarkeit der elektrischen Leitfähigkeit für Trinkwasserversorgung besonders für Härtebestimmung. Zeitschrift für Hygiene und Infektionskrankheiten, Heft 104, 1925.
- FREIER, R.: Wasseranalyse, chemische, physiko-chemische und radiochemische Untersuchungsverfahren. 2. Auflage Berlin 1974.
- FREYBERG, B. v.: Die Entstehung des Bamberger Kessels. Geol. Bl. NO-Bayern Band 5, Erlangen 1955.
- GHAWAMI-TEHERANI, D.: Geologische Untersuchungen auf der Südhälfte des Blattes Buttenheim (6132), Diplomarbeit, Geol. Institut Erlangen, 1972.
- GRIMM, W.D. und HOFBAUER, J.: Die Grundwasserkarte von Bayern 1:25.000. Bayerische Landesstelle für Gewässerkunde, Sonderheft 1967, Koblenz 1967.
- HAARLÄNDER, W.: Erläuterungen zur geologischen Karte von Bayern 1:25.000, Blatt Adelsdorf, München 1963.
- HAUNSCHILD, H.: Schwermineralanalytische Untersuchungen zwischen Keuper- und Jura-Grenze im nördlichen Franken, insbesondere zwischen Erlangen und Forchheim. Geol. Bl. NO-Bayern 7, Erlangen 1957.
- HOLLEMANN-WIBERG: Lehrbuch der anorganischen Chemie 57.-70. Auflage, Berlin 1964.
- HÖLL, K.: Wasser; Untersuchung, Beurteilung, Aufbereitung, Chemie, Bakteriologie, Biologie. 5. Auflage, Berlin 1970.
- HÖRAUF, H.: Zwei neue Tiefbohrungen zur Grundwassererschließung bei Abenberg, Lkr. Roth bei Nürnberg, I Hydrogeologie. Geol. Bl. NO-Bayern 24, Erlangen 1974.
- JANDER-BLASIUS: Einführung in das anorganisch-chemische Praktikum, 8. Auflage, Saarbrücken 1968.

- KEILHACK, K.: Lehrbuch der Grundwasser- und Quellenkunde, Berlin 1912.
- KELLER, G.: Angewandte Hydrogeologie, Braunschweig 1969
- KESSLER, G.: Sedimentologische Untersuchungen im ostfränkischen Rhätolias. Erlanger Geol. Abh. 93, 1973.
- KGL. BAYER. HYDROTECHNISCHES BUREAU: Verzeichnis der Flächeninhalte der Bach- und Flußgebiete im Königreich Bayern, München 1910.
- KOEHNE, W.: Die Ermittlung der Wasserführung von Grundwasserströmen und ihre Bedeutung für den Betrieb von Wasserwerken, Teil III, Bielefeld 1953.
- Grundwasserkunde, 2. Auflage, Stuttgart 1948
- KRUMBECK, L.: Erläuterungen zur geologischen Karte von Bayern 1:25.000, Blatt Forchheim, München 1956.
- LANG, M.: Erläuterungen zur geologischen Karte von Bayern 1:25.000, Bl. Bamberg-Süd, München 1970.
- LEGLER, C.: Ausgewählte Methoden der Wasseruntersuchung. Band I chemische, physikalisch-chemische, physikalische und elektrochemische Methoden, Jena 1973.
- LEITHE, W.: Die Analyse der organischen Verunreinigungen in Trink-, Brauch- und Abwässern, Stuttgart 1972.
- MARIOLAKOS, I.: Hydrogeologische Verhältnisse des Blattes Haßfurt, Erlanger Geol. Abh. Heft 74, 1969.
- MERCK, E.: Die Untersuchung von Wasser, 7. Auflage, Darmstadt .
- MERTEN, F.: Der Chemielaborant, Teil I, Grundlagen der Laborpraxis, chemische Analysen, 2. Auflage, Hannover 1964.

- MÜLLER, G.: Methoden der Sedimentuntersuchung,
Sedimentpetrologie, Teil I, Stuttgart 1964.
- NERNST, H.: Theoretische Chemie, 11.-15. Auflage,
Stuttgart 1926.
- POHL, G.: Chemie für technische Berufe, Hamburg 1964.
- POLL, K. G.: Ergebnisse der Erlanger Quartär-Arbeiten
im Regnitztal zwischen Nürnberg und Bamberg.
Nachrichten deutsche Geologische Gesellschaft
Heft 10, S. 28-36. Erlangen 1974.
- POLL, K.G. und SCHRÖDER, B.: Zum Alter der Regnitz-
Oberterrassen nach Aufschlüssen in Alter-
langen, Mittelfranken. Geol. Bl. NO-Bayern,
Heft 21, 171-178, Erlangen 1971.
- REUTER, L.: Die natürlichen Grundlagen der Wasser-
versorgung in Bayern, München 1930.
- Die Quell- und Grundwasservorräte in den
geologischen Formationen Nordbayerns,
Plauen 1926.
- SCHNITZER, W.A.: Geröll- und Schwermineraluntersuchung
im Weißen Main und an der Luhe. Kritische
Betrachtungen zur Anwendbarkeit der Geröll-
analyse. Geol. Bl. NO-Bayern, Heft 9, 50-55,
Erlangen 1959.
- Sedimentpetrographische Untersuchungen an
postjurassischen Überdeckungsbildungen der
mittleren Frankenalb. Geol. Bl. NO-Bayern,
Heft 3, Erlangen 1953.
 - Die Lithologie und Paläogeographie des Bunt-
sandsteins am Westrand der Böhmisches Masse.
Erlanger Geol. Abh. Heft 24, 1957.
 - Der Schwermineralgehalt des Keupers in den
Bohrungen 1 bis 3 Mühlendorf bei Nürnberg.
Geol. Bl. NO-Bayern, Heft 13, Erlangen 1963.
- SCHRÖDER, B.: Die Schwermineralführung des Keupers in
den nördlichen Haßbergen im regionalen
Vergleich. Geol. Bl. NO-Bayern Heft 15,
Erlangen, 1965.

- SCHRÖDER, B.: Schwermineralführung und Paläogeographie des Doggersandsteins in Nordbayern, Erlanger Geol. Abh. Heft 42, 1962.
- SEEFELDNER, E.: Morphologische Studien aus dem Gebiet des Fränkischen Jura, Stuttgart 1914.
- STAHL, G.: Zur Sedimentologie des tieferen Sandsteinskeupers in Nordbayern, Erlanger Geol. Abh. Heft 85, Erlangen 1971.
- STATISTISCHES LANDESAMT Institut für Landeskunde und Raumforschung, Grundwasserhöfigkeitskarte für Bundesrepublik Deutschland 1:1.000.000.
- ULRICH, R.: Tektonik und Grundwasserführung in ihren Beziehungen zueinander auf Grund geologischer Aufnahmen in der Umgebung von Würzburg, Geologica Bavarica Heft 25, München 1956.
- VIOHL, G.: Die Keuper-Lias-Grenze in Südfranken. Erlanger geol. Abh. Heft 76. Erlangen 1969.
- WEYL, R.: Schwermineralführung und ihr Einfluß auf die Mineralführung klastischer Sedimente. Erdöl und Kohle, Bd. 3, 209-211, Hamburg 1953.
- Zur Frage der Schwermineralverteilung in Sedimenten, Erdöl und Kohle, Bd. 5, 29-33, Hamburg 1952.
- WIESENEDER, H.: Über die Veränderungen des Schwermineralbestandes durch die Verwitterung und Diagenese. Erdöl und Kohle Bd. 6, 369-372, Hamburg 1953.
- WILHELM, F.: Hydrologie, Glaziologie, München 1972.

A N H A N G

Meßstation Wingersdorf (21)

Die chemische und physikalische Beschaffenheit der Reichen Ebrach beim Eintritt in das Untersuchungsgebiet vom Oktober 1974 bis September 1975

Einh.	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	Jahr
KMnO ₄	15,3	27,8	44,6	19,3	17,5	15,2	30,2	27,8	26,2	36,7	20,9	26,9	25,70
O ₂	-	-	10,9	10,6	10,3	8,5	9,0	7,2	8,1	7,0	7,1	-	8,75
tw	8,1	5,1	8,0	4,8	1,8	7,1	5,4	11,4	17,1	19,8	20,2	14,2	10,25
SiO ₂	6,0	8,8	6,0	6,5	6,5	3,0	3,5	4,0	6,5	8,0	8,0	7,5	6,27
NO ₂	0,2	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,4	0,0	0,1	0,8	0,20
Fe	0,0	+	0,2	+	0,1	+	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	0,2	0,07
PO ₄	0,0	+	0,0	0,0	0,0	0,7	0,7	1,1	1,3	2,0	2,0	4,0	0,98
LF	720	655	285	435	490	530	475	660	700	650	740	685	585,41
pH	-	8,1	7,2	7,9	8,0	8,1	7,9	8,1	8,0	7,9	7,9	8,0	7,90
Ca	116,2	96,1	64,1	100,2	102,2	96,2	106,2	104,2	112,2	110,2	110,2	122,2	103,33
Mg	38,9	38,9	17,0	43,8	42,6	51,1	26,8	40,1	46,2	30,4	38,9	31,6	37,19
Cl	36,0	38,5	23,5	33,0	42,0	42,0	41,0	43,5	35,0	45,5	46,5	44,5	40,16
KH	14,0	11,9	4,9	11,1	12,2	13,2	12,6	12,7	14,0	11,8	14,0	14,7	12,25
GH	25,2	22,4	12,9	24,1	24,1	26,2	21,0	23,8	26,3	22,4	24,4	24,4	23,01
NKH	11,2	10,5	8,0	13,0	11,9	12,0	8,4	10,1	12,3	10,6	10,4	9,7	10,67
SO ₄	-	-	115,3	96,1	124,9	67,3	134,5	48,1	38,4	86,5	57,7	57,7	82,65
m-Wert	5,0	4,2	1,7	3,9	4,3	4,7	4,5	4,5	5,0	4,2	5,0	5,0	4,33

Abb. 68

Daten chemischer und physikalischer Untersuchungen des Quellwassers südöstlich Jungenhofen (22)

	Einh.	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	Jahr
KMnO ₄	ppm	29,0	19,2	35,1	15,8	13,3	16,8	39,2	26,4	28,5	32,8			25,61
O ₂	ppm	-	-	11,2	7,3	8,4	7,5	9,2	7,7	9,1	8,2	T	T	8,57
tw	C°	6,8	7,5	7,1	4,4	2,1	4,7	3,9	10,4	13,1	16,0			15,20
SiO ₂	ppm	6,5	7,0	4,0	7,0	6,5	6,0	5,5	6,5	8,5	8,5	R	R	6,60
NO ₂	ppm	0,0	0,0	0,0	+	0,0	0,0	0,0	0,0	+	0,0			0,0
Fe	ppm	0,1	+	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	O	O	0,02
PO ₄	ppm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0	1,3			0,24
LF	µS	245,0	295,0	215,0	165,0	175,0	185,0	190,0	270,0	250,0	230,0	C	C	222,0
pH	-	7,5	7,7	6,8	7,6	7,4	7,3	7,0	7,2	7,6	7,6			7,37
Ca	ppm	40,1	40,1	52,1	56,1	46,1	34,1	40,1	38,1	32,1	44,1	K	K	42,30
Mg	ppm	14,5	12,2	12,2	9,7	3,7	15,8	8,6	10,9	13,4	23,1			12,41
Cl	ppm	24,0	32,0	22,5	32,5	27,5	23,5	22,0	24,0	39,0	29,5	E	E	27,65
KH	dH°	3,6	3,4	2,5	2,4	2,9	3,1	3,8	4,5	4,9	3,9			3,50
GH	dH°	9,0	8,4	10,1	10,1	7,3	8,4	7,6	7,8	7,6	11,5	N	N	8,78
NKH	dH°	5,4	5,0	7,6	7,7	4,4	5,3	3,8	3,3	2,7	7,6			5,28
SO ₄	ppm	-	-	86,5	115,3	115,3	38,4	38,4	28,8	28,8	38,4			61,23
m-Wert	mval	1,3	1,2	0,9	0,8	1,0	1,1	1,3	1,6	1,7	1,4			1,23

Abb. 69

Untersuchungsdaten der Reichen Ebrach an der Meßstation Schlüssellau (23)

Einh.	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	Jahr	
KMnO ₄	ppm	14,9	14,9	46,5	17,1	16,6	17,7	33,0	27,8	29,1	35,9	7,8	26,6	23,99
O ₂	ppm	-	-	9,4	9,7	10,9	9,8	10,1	7,4	7,5	6,5	6,2	-	8,61
tw	C°	8,1	7,2	7,9	4,4	1,9	7,7	6,4	13,0	16,9	19,2	20,8	13,9	10,61
SiO ₂	ppm	6,0	6,5	7,5	6,5	7,0	4,0	3,5	5,5	6,0	8,5	7,5	7,5	6,33
NO ₂	ppm	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,0	0,2	0,9	0,20
Fe	ppm	0,0	0,1	+	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,02
PO ₄	ppm	0,7	0,3	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	0,7	1,3	3,7	1,6	4,7	1,14
LF	µS	680,0	650,0	280,0	410,0	535,0	590,0	475,0	625,0	690,0	625,0	725,0	705,0	582,50
pH	-	8,0	7,8	7,3	7,9	8,0	8,2	8,1	8,2	8,0	7,8	7,9	8,0	7,93
Ca	ppm	108,2	104,2	60,1	108,2	104,2	100,2	90,2	54,1	104,2	98,2	108,2	112,2	96,01
Mg	ppm	38,9	31,6	19,5	43,8	38,9	46,2	35,2	43,8	38,9	37,7	41,3	41,3	38,09
Cl	ppm	38,0	43,5	23,0	38,0	40,5	39,0	42,0	44,0	50,5	33,0	41,0	58,5	41,83
KH	dH°	13,4	11,9	4,9	10,5	11,6	12,7	10,9	11,8	13,7	12,6	14,1	14,6	11,89
GH	dH°	24,1	21,8	12,9	42,0	23,5	24,6	20,7	23,2	23,5	22,4	24,6	25,2	24,04
NKH	dH°	10,7	9,9	8,0	31,5	11,9	11,9	9,8	11,4	9,8	9,8	10,5	10,6	12,15
SO ₄	ppm	-	-	67,3	124,9	78,9	86,5	144,1	57,7	48,1	76,9	57,7	57,7	79,78
m-wert	mval	4,8	4,2	1,7	3,7	4,1	4,5	3,9	4,2	4,9	4,5	5,0	5,0	4,20

Meßstation Röbersdorf (24)
 Einmündung der Keuper-Quellen von Jungenhofen in die Reiche Ebrach

Einh.	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	Jahr
KMnO ₄	ppm	31,8	47,1	23,7	28,1	25,9	40,1	36,8	16,0	26,2	13,9	24,0	29,75
O ₂	ppm	-	9,6	10,1	10,5	9,8	9,3	7,2	7,7	6,3	6,2	-	8,52
tw	°C	7,0	7,2	4,0	2,6	6,7	7,8	14,1	13,5	20,2	19,7	14,8	10,30
SiO ₂	ppm	6,0	5,5	6,5	6,0	4,0	4,0	4,0	1,1	6,0	4,5	11,0	6,25
NO ₂	ppm	0,2	0,1	0,0	0,0	0,1	0,2	0,4	0,4	0,0	3,5	1,3	0,55
Fe	ppm	0,0	0,0	0,0	+	0,1	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,1	0,05
PO ₄	ppm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	5,7	0,56
LF	µS	375,0	305,0	245,0	270,0	275,0	350,0	520,0	895,0	600,0	124,0	590,0	517,5
pH	-	7,0	7,8	7,5	7,7	7,8	8,6	7,7	4,2	6,3	7,9	7,1	7,24
Ca	ppm	80,1	56,1	58,1	50,1	48,1	46,1	52,1	56,1	48,1	42,1	44,1	53,10
Mg	ppm	0,0	17,0	24,3	13,3	24,3	15,8	15,8	14,6	19,4	18,2	20,7	16,70
Cl	ppm	40,0	34,5	39,5	41,5	38,0	40,0	39,5	37,5	41,0	43,5	49,5	41,37
KH	dH°	6,3	4,9	4,3	4,5	5,1	5,7	6,8	7,7	3,8	4,6	5,9	5,48
GH	dH°	11,2	11,8	13,7	10,1	12,3	10,1	10,9	11,2	11,2	10,1	10,9	11,27
NKH	dH°	4,9	6,9	9,4	5,6	7,2	4,4	4,1	3,5	7,4	5,5	5,0	5,79
SO ₄	ppm	-	48,0	96,1	57,3	38,4	38,4	48,1	67,2	57,6	28,8	57,7	54,76
m-Wert	mval	2,2	1,7	1,5	1,6	1,8	2,0	2,4	2,7	1,3	1,6	2,1	1,92

Meßstation Erlach (25)

Chemismus der Reichen Ebrach unmittelbar vor Einmündung in die Regnitz

Einh.	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	Jahr
KMnO ₄	ppm	14,9	25,1	46,5	21,5	13,3	28,4	33,0	26,0	32,9	20,2	25,0	25,01
O ₂	ppm	-	-	9,8	10,4	11,0	10,5	10,0	8,4	6,6	6,0	-	9,18
tw	C°	7,9	5,0	7,9	4,7	2,3	6,8	12,0	16,8	18,4	19,9	13,7	10,25
SiO ₂	ppm	6,0	8,5	7,0	7,5	7,0	3,0	4,5	7,0	10,0	7,5	8,0	6,66
NO ₂	ppm	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,0	0,2	0,3	0,0	0,1	1,1	0,36
Fe	ppm	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,2	0,04
PO ₄	ppm	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,7	0,7	1,3	2,7	1,3	5,4	1,09
LF	µS	690,0	665,0	280,0	400,0	490,0	485,0	620,0	690,0	610,0	700,0	715,0	571,26
pH	-	8,0	7,9	7,4	7,9	8,0	8,1	8,4	7,8	7,7	7,9	8,1	7,93
Ca	ppm	112,2	108,2	76,2	100,2	112,2	94,2	106,2	110,2	88,2	104,2	106,2	101,33
Mg	ppm	26,8	31,6	14,6	41,3	34,0	32,8	34,0	35,3	32,8	43,4	47,4	35,01
Cl	ppm	37,0	40,5	23,0	40,0	40,5	44,0	43,5	47,0	49,0	44,0	97,5	45,58
KH	dH°	13,4	11,9	5,5	10,6	11,8	10,9	12,3	14,0	12,5	14,6	11,2	11,65
GH	dH°	21,8	22,4	14,0	23,5	23,5	20,7	22,7	23,5	19,9	24,9	25,8	22,28
NKH	dH°	9,5	10,5	8,5	12,9	11,7	9,8	10,4	9,5	7,4	9,3	14,6	10,53
SO ₄	ppm	-	-	96,1	192,2	105,7	38,1	38,4	48,1	57,7	38,4	38,4	78,76
m-wert	mval L	4,4	4,2	1,9	3,8	4,2	3,9	4,4	5,0	4,4	5,2	4,0	4,15

Abb. 72

Untersuchungsdaten der kleinen Keuperquelle nördlich Rothensand (26)

Einh.	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	Jahr
KMnO ₄	ppm	24,7	14,9	25,9	10,6	11,4	19,6	24,6					18,81
O ₂	ppm	-		10,9	10,2	9,7	6,5	10,8	T	T	T	T	9,62
tw	C°	6,4	6,1	7,8	5,0	1,7	6,3	7,9					5,88
SiO ₂	ppm	6,0	3,5	6,5	4,5	4,0	0,5	2,0	R	R	R	R	3,85
NO ₂	ppm	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0					0,07
Fe	ppm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	O	O	O	O	0,0
PO ₄	ppm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					0,0
LF	µS	400,0	480,0	240,0	205,0	315,0	390,0	450,0	C	C	C	C	354,28
pH	-	7,9	8,3	7,5	8,0	7,8	8,0	7,8					7,90
Ca	ppm	104,2	112,2	84,2	78,2	100,2	116,2	132,3	K	K	K	K	103,92
Mg	ppm	0,0	2,4	24,3	3,6	6,1	9,7	10,9					8,14
Cl	ppm	45,0	46,0	14,0	14,5	17,5	18,5	29	E	E	E	E	22,62
KH	dH°	6,7	9,8	5,6	9,4	9,8	13,7	13,7					9,81
GH	dH°	14,6	16,2	17,4	11,8	15,4	18,5	21,0					16,41
NKH	dH°	7,9	6,4	11,8	2,4	5,6	4,8	7,3	N	N	N	N	6,60
SO ₄	ppm	-		96,1	115,3	96,1	38,4	48,1					78,80
m-Wert	inval	2,4	3,5	2,0	2,3	3,5	4,9	4,9					3,35

Meßstation E' Tiefenstürmig (27)

Chemische und physikalische Beschaffenheit des Malm-Quellwassers in 25 m unterhalb der Austrittsstelle

Einh.	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	Jahr
KMnO ₄	14,9	14,5	13,6	9,2	9,2	8,9	11,5	12,5	9,3	11,2	4,1	4,5	10,28
O ₂	-	-	9,9	9,1	9,4	10,6	9,2	8,8	10,3	9,9	10,1	-	9,70
tw	8,8	8,4	8,8	7,9	8,0	7,9	7,9	10,7	10,8	10,8	12,1	10,6	9,39
SiO ₂	3,9	4,2	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,5	4,5	4,5	4,0	4,13
NO ₂	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Fe	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
PO ₄	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
LF	400,0	415,0	350,0	290,0	365,0	350,0	335,0	370,0	360,0	370,0	350,0	385,0	361,66
pH	-	7,9	7,9	8,0	8,1	8,1	8,1	7,8	7,6	7,7	7,5	7,7	7,85
Ca	104,2	120,2	132,3	124,2	108,2	112,2	98,2	94,2	88,2	98,2	82,2	90,2	104,37
Mg	2,4	0,0	0,0	12,2	2,4	0,0	8,5	3,6	9,7	4,9	6,1	3,6	4,45
Cl	12,0	9,5	9,0	13,5	12,5	17,0	12,5	13,5	18,0	17,0	12,5	14,5	13,45
KH	12,3	12,0	11,3	12,6	11,2	11,5	11,2	10,6	10,6	11,2	10,2	10,9	11,30
GH	15,1	16,8	18,5	20,2	15,7	15,7	15,7	14,0	14,6	14,8	12,9	13,4	15,61
NKH	2,8	4,8	7,2	7,6	4,5	4,2	4,5	3,4	4,0	3,6	2,7	2,5	4,31
SO ₄	-	-	62,4	48,6	38,4	28,8	38,4	28,8	28,8	38,4	28,8	28,8	37,02
m-Wert	4,4	4,3	4,0	4,5	4,0	4,1	4,0	3,8	3,8	4,0	3,6	3,7	4,01

Abb. 74

Meßstation W' Tiefenstürmig (28)

Chemische und physikalische Beschaffenheit des Doggersandstein-Quellwassers

Einh.	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	Jahr
KMnO ₄	ppm	19,2	14,6	4,7	4,1	5,4	8,5	9,6	11,7	8,4	11,1	4,1	4,7 8,84
O ₂	ppm	-	-	7,7	7,4	6,5	8,5	7,2	7,0	8,6	9,9	8,1	- 7,87
tw	°C	9,2	9,4	8,8	8,6	8,5	8,8	8,5	8,7	8,7	8,8	9,3	8,7 8,83
SiO ₂	ppm	6,0	5,5	6,0	4,2	5,5	5,0	5,5	4,5	5,0	5,5	5,0	5,5 5,26
NO ₂	ppm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0 0,0
Fe	ppm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0 0,0
PO ₄	ppm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0 0,0
LF	µS	430,0	450,0	410,0	315,0	370,0	375,0	365,0	430,0	440,0	425,0	445,0	440,0 407,91
pH	-	7,4	7,3	7,2	7,3	7,3	7,3	7,2	7,2	7,1	7,1	7,0	7,3 7,22
Ca	ppm	112,2	116,2	132,3	136,3	112,2	104,2	104,2	96,2	104,2	98,2	98,2	104,2 109,88
Mg	ppm	4,9	2,4	0,0	10,9	19,4	19,5	14,6	17,0	7,3	18,2	1,2	4,7 10,00
Cl	ppm	16,0	12,5	14,0	14,0	15,0	12,0	15,5	18,5	25,0	24,0	14,5	15,5 16,37
KH	dH°	13,4	14,0	12,9	13,6	13,3	13,2	12,5	13,0	12,7	12,9	13,3	14,0 13,23
GH	dH°	16,8	16,8	18,5	21,6	20,2	19,0	17,9	17,4	16,2	17,2	14,0	15,7 17,60
NKH	dH°	3,4	2,8	5,6	8,0	6,9	5,8	5,4	4,4	3,5	4,3	0,7	1,7 4,37
SO ₄	ppm	-	-	67,3	57,1	48,1	28,8	38,4	19,2	28,8	38,4	28,8	28,8 31,97
m-Wert	$\frac{\text{mval}}{\text{L}}$	4,8	5,0	4,6	4,8	4,7	4,7	4,4	4,6	4,5	4,6	4,7	4,7 4,75

Abb. 75

Chemismus des Eggerbaches nach Durchfließen zweier Dörfer unterhalb seiner Hauptquellen bei der Meßstation Götzendorf (29)

Einh.	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	Jahr
KMnO ₄	ppm	17,6	15,7	9,8	10,4	9,5	15,0	12,8	14,5	16,1	8,2	12,6	12,64
O ₂	ppm	-	-	10,1	9,8	10,4	10,8	10,0	9,1	9,4	7,9	-	9,64
tw	C°	6,8	8,2	8,5	7,4	7,6	7,2	13,0	12,6	14,2	16,9	9,4	9,95
SiO ₂	ppm	8,0	8,0	4,0	4,5	4,5	4,5	3,5	6,0	5,5	6,0	5,5	5,33
NO ₂	ppm	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,2	0,0	0,04
Fe	ppm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	+	+	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
PO ₄	ppm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	1,3	0,27
LF	µS	420,0	415,0	380,0	300,0	325,0	335,0	370,0	400,0	395,0	410,0	415,0	376,25
pH	-	8,2	8,1	8,2	8,1	8,2	8,2	8,5	8,3	8,1	8,2	8,1	8,20
Ca	ppm	108,2	112,2	132,2	128,2	104,2	98,2	96,2	96,2	100,2	98,2	106,2	107,03
Mg	ppm	7,3	0,0	9,7	10,9	2,4	12,1	7,3	6,1	7,3	10,9	6,1	6,67
Cl	ppm	20,0	14,0	12,0	17,0	14,5	17,0	18,0	23,0	27,0	18,0	21,5	17,20
KH	dH°	11,8	11,9	12,0	11,8	11,9	10,8	10,8	11,9	11,2	12,6	15,4	11,71
GH	dH°	16,8	15,7	20,7	20,4	15,1	13,7	15,1	14,8	15,7	16,2	16,2	16,48
NKH	dH°	5,0	3,8	8,7	8,6	3,2	2,9	4,3	2,9	4,5	4,4	0,8	4,67
SO ₄	ppm	-	-	76,9	76,9	28,8	28,8	38,4	28,8	38,4	38,4	28,8	38,42
m-Wert	$\frac{\text{mval}}{\text{L}}$	4,2	4,2	4,3	4,2	4,2	3,8	3,8	4,2	4,0	4,5	5,5	4,15

Meßstation Weigelshofen (30)

Eggerbach ca. 15 km von seinen Quellen entfernt, nach Durchfließen eines relativ engen Tales und einer breiten Ebene.

	Einh.	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	Jahr
KMnO ₄	ppm	17,2	14,9	19,6	9,2	9,8	10,4	13,3	18,3	19,9	19,1	13,0	13,6	14,85
O ₂	ppm	-	-	10,1	9,9	9,7	10,9	11,2	8,9	8,6	7,7	7,3	-	9,36
tw	C°	6,7	7,6	8,4	6,6	4,8	6,8	5,7	13,5	14,2	17,4	18,9	9,9	10,04
SiO ₂	ppm	6,0	4,0	5,0	5,5	6,0	5,5	3,5	2,0	5,0	6,0	6,5	6,0	5,08
NO ₂	ppm	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,4	0,0	0,4	0,0	0,10
Fe	ppm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
PO ₄	ppm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0	1,6	0,7	1,3	1,3	3,3	0,77
LF	µS	490,0	470,0	375,0	325,0	375,0	410,0	445,0	400,0	440,0	435,0	470,0	480,0	426,25
pH	-	8,3	8,1	8,0	8,1	8,1	8,2	8,5	8,7	8,0	8,0	7,9	8,2	8,17
Ca	ppm	120,2	116,2	120,2	126,3	108,2	112,2	92,2	102,2	96,2	106,2	102,2	98,2	108,37
Mg	ppm	7,2	7,2	4,9	15,8	18,2	9,7	14,6	15,8	7,3	13,4	17,0	15,8	12,24
Cl	ppm	24,0	18,5	16,0	27,5	21,0	22,0	25,0	25,5	32,0	26,0	28,0	27,0	24,37
KH	dH°	12,0	12,6	9,8	11,3	11,8	10,9	10,8	11,5	11,2	13,2	12,6	11,4	11,59
GH	dH°	18,5	17,9	17,9	21,3	19,3	17,9	16,2	17,9	15,1	17,9	18,2	17,4	17,95
NKH	dH°	6,5	5,3	8,1	0,0	7,5	7,0	5,4	6,4	3,9	4,7	5,6	6,0	6,36
SO ₄	ppm	-	-	76,9	105,7	67,3	57,6	48,1	57,6	38,4	38,4	48,1	57,6	59,57
m-Wert	$\frac{\text{mval}}{\text{L}}$	4,3	4,5	3,5	4,0	4,2	3,9	3,8	4,1	4,0	4,7	4,5	4,0	4,12

Abb. 77

Untersuchungsdaten des Eggerbaches von Oktober 1974 bis September 1975 an der Meßstation Neues (31) kurz vor der Einmündungsstelle in die Regnitz

Einh.	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	Jahr	
KMnO ₄	ppm	17,1	14,5	27,5	17,4	10,1	9,1	17,4	20,1	21,8	30,3	15,8	14,2	17,94
O ₂	ppm	-	-	10,7	11,0	11,4	11,3	11,9	9,7	9,1	8,3	7,4	-	10,08
tw	C°	6,6	7,0	8,4	6,6	5,0	6,6	5,7	12,6	14,3	17,3	21,8	10,2	10,17
SiO ₂	ppm	6,0	6,5	6,0	7,0	5,5	6,0	2,5	2,0	4,0	6,0	6,0	6,0	5,29
NO ₂	ppm	0,2	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,2	0,2	0,09
Fe	ppm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,03
PO ₄	ppm	0,0	+	+	0,7	0,0	+	0,0	0,7	0,7	1,3	1,3	5,4	0,84
LF	µS	490,0	475,0	390,0	355,0	370,0	435,0	390,0	430,0	450,0	450,0	510,0	510,0	437,91
pH	-	8,2	8,2	8,0	8,1	8,2	8,3	8,6	8,4	8,0	8,2	8,I	8,3	8,20
Ca	ppm	116,2	116,2	120,2	132,2	110,2	114,2	110,2	108,2	102,2	114,2	112,2	108,2	113,70
Mg	ppm	14,5	4,8	7,3	10,9	13,4	18,2	12,1	8,5	7,3	7,3	6,1	12,1	10,20
Cl	ppm	29,0	18,0	19,0	25,0	17,5	22,0	25,5	23,5	29,0	21,0	38,5	37,0	26,33
KH	dH°	12,3	12,4	10,5	11,9	11,6	11,3	11,2	11,9	12,3	11,8	13,4	13,2	11,98
GH	dH°	19,6	17,4	18,5	21,0	18,5	20,2	18,2	17,1	16,0	17,6	17,1	17,9	18,25
NKH	dH°	7,3	5,0	8,0	9,1	6,9	8,9	7,0	5,2	3,7	5,8	2,7	4,7	6,27
SO ₄	ppm	-	-	76,8	96,1	96,1	76,8	67,3	48,1	38,4	38,4	28,8	38,4	60,52
m-Wert	$\frac{\text{mval}}{\text{L}}$	4,4	4,4	3,7	4,2	4,1	4,0	4,0	4,2	4,4	4,2	4,8	4,7	4,25

Abb. 78

Chemismus und Beschaffenheit der Rauhen Ebrach beim Eintritt in das Untersuchungsgebiet an der Meßstation Frensdorf (32) im Zeitraum von Oktober 1974 bis September 1975.

Einh.	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	Jahr	
KMnO ₄	ppm	15,3	19,2	28,1	18,3	15,8	12,0	32,9	22,6	28,9	29,7	16,4	13,3	21,04
O ₂	ppm	-	-	10,9	10,2	11,8	11,2	8,5	9,2	8,0	6,9	6,1	-	9,20
tw	C°	7,8	5,9	3,7	5,7	2,4	5,8	8,8	12,0	14,8	19,7	18,9	13,3	9,90
SiO ₂	ppm	8,2	8,5	6,0	10,0	7,0	6,5	7,0	7,5	7,0	8,5	9,0	9,0	7,85
NO ₂	ppm	0,2	0,4	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,5	0,0	0,4	0,7	0,24
Fe	ppm	0,0	0,0	0,0	0,0	+	+	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,02
PO ₄	ppm	0,7	4,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	2,0	1,3	3,3	1,3	5,4	1,52
LF	µS	660,0	655,0	355,0	470,0	495,0	600,0	370,0	570,0	660,0	755,0	780,0	760,0	546,66
pH	-	8,0	7,9	7,6	7,9	8,0	8,1	7,7	8,0	7,6	7,8	7,7	7,9	7,85
Ca	ppm	104,2	108,2	68,1	82,2	104,2	100,2	66,1	90,2	98,2	110,2	104,2	104,2	95,01
Mg	ppm	38,9	31,6	26,8	40,1	34,0	55,9	25,5	46,2	48,6	51,1	52,3	38,6	41,63
Cl	ppm	34,0	31,5	27,5	32,0	33,0	36,5	29,5	33,5	40,5	43,0	41,5	38,5	35,08
KH	dH°	14,0	12,9	6,3	10,9	11,5	12,5	7,3	11,6	12,9	14,0	14,7	14,6	11,90
GH	dH°	23,5	22,4	15,7	20,7	22,4	26,9	15,1	23,2	24,9	27,1	26,6	25,8	22,85
NKH	dH°	9,5	9,5	9,4	9,8	10,9	14,4	7,8	11,6	12,0	13,1	11,9	11,2	10,95
SO ₄	ppm	-	-	76,8	115,3	86,5	86,8	67,2	57,6	57,6	86,5	86,5	67,3	77,85
m-Wert $\frac{\text{mval}}{\text{L}}$		5,0	4,6	2,2	3,6	4,1	4,4	2,6	4,1	4,6	5,0	5,2	5,2	4,21

Beschaffenheit des Wassers aus den Keuperquellen nördlich von Untergreuth (33) nach Durchfließen dieses einzigen Dorfes, gemessen direkt an der Austrittsstelle im Süden des Ortes.

	Einh.	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	Jahr
KMnO ₄	ppm	203,8	239,1	55,3	44,6	48,4	51,2	54,7	49,0	126,8	117,0		464,0	132,17
O ₂	ppm	-	-	7,7	4,7	6,1	7,9	5,5	5,2	5,3	1,1	T	-	5,43
tw	°C	5,6	4,1	3,0	5,2	0,6	4,4	9,6	16,2	13,8	19,5		16,4	8,94
SiO ₂	ppm	8,0	8,0	8,0	8,0	6,5	5,0	5,5	9,0	8,0	9,5	R	12,0	7,95
NO ₂	ppm	0,0	0,0	0,9	0,7	0,6	0,8	0,2	0,8	0,0	0,0		0,0	3,63
Fe	ppm	0,4	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,2	0,2	0,8	0,2	O	0,6	2,45
PO ₄	ppm	2,0	5,4	1,3	1,3	0,0	1,1	2,0	6,0	3,7	16,0		30,8	6,32
LF	µS	540,0	475,0	455,0	560,0	515,0	625,0	540,0	715,0	560,0	975,0	C	1920,0	716,36
pH	-	7,1	7,5	7,2	7,5	7,6	7,5	7,7	7,6	7,0	7,4		5,8	7,26
Ca	ppm	80,1	68,1	76,2	90,2	86,2	84,2	80,2	86,2	70,1	80,2	K	84,2	80,53
Mg	ppm	21,8	17,0	41,3	38,9	45,0	65,7	52,3	52,3	32,8	62,0		88,8	47,08
Cl	ppm	55,0	44,0	47,5	59,5	61,0	62,5	60,5	67,5	60,5	84,0	E	151,0	68,5
KH	dH°	13,2	11,5	6,3	12,2	13,6	15,0	13,6	18,3	11,9	22,7		38,6	16,08
GH	dH°	16,2	13,4	20,2	21,6	22,4	26,9	23,2	24,1	17,4	25,5	N	38,6	22,68
NKH	dH°	3,0	1,9	13,9	9,4	8,8	11,9	9,6	5,8	5,5	2,8		0,0	6,60
SO ₄	ppm	-	-	96,1	153,8	67,2	67,3	38,4	38,4	28,8	28,8		57,7	64,05
m-Wert	$\frac{\text{mval}}{\text{L}}$	4,7	4,1	2,2	4,3	4,8	5,3	4,8	6,6	4,2	8,1		13,8	4,55

Beschaffenheit des Wassers aus einer kleinen Keuperquelle nördlich von Waizendorf (34)
von Oktober 1974 bis einschließlich Mai 1975

Einh.	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	Jahr
KMnO ₄	ppm	33,1	43,7	43,6	42,0	19,9	21,2	31,9	34,8				33,65
O ₂	ppm	-	-	12,4	7,5	9,4	11,5	9,4	9,2	T	T	T	9,90
tw	C°	7,1	4,8	2,9	3,3	2,8	3,8	8,4	10,8				5,48
SiO ₂	ppm	8,5	12,0	6,0	8,5	7,0	6,5	6,0	4,0	R	R	R	7,31
NO ₂	ppm	+	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1				0,03
Fe	ppm	0,0	+	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	O	O	O	0,02
PO ₄	ppm	0,0	0,3	+	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3				0,07
LF	µS	480,0	550,0	530,0	165,0	710,0	775,0	520,0	780,0	C	C	C	563,75
pH	-	7,2	7,2	7,5	5,1	8,0	8,2	7,3	7,9				7,30
Ca	ppm	100,2	84,2	112,2	28,1	128,2	148,3	112,2	122,2	K	K	K	104,45
Mg	ppm	26,7	21,9	29,2	12,2	47,4	35,3	23,1	31,6				28,42
Cl	ppm	95,0	74,5	69,5	15,5	83,0	102,5	79,0	111,5				78,81
KH	dH°	9,8	9,0	7,6	0,6	13,2	14,0	8,4	13,9	E	E	E	9,37
GH	dH°	20,2	16,8	22,4	6,7	28,4	28,4	21,0	24,4				21,03
NKH	dH°	10,4	7,8	14,8	6,1	15,2	15,4	12,6	10,5	N	N	N	11,66
SO ₄	ppm	-	-	86,5	153,8	76,8	57,6	38,4	38,4				75,25
m-wert	mval L	3,5	3,2	2,7	0,2	4,7	4,6	3,0	4,9				3,35

Abb. 81

Weiteres Beispiel für die starke Veränderung der chemischen und physikalischen Bestandteile des Wassers durch die Verschmutzung eines einzigen Dorfes (Wildensorg, 35).

	Einh.	O	N	D	J	F	M	•	A	M	J	J	A	S	Jahr
KMnO ₄	ppm	75,6	60,7	42,4	41,4	32,8	39,1	67,3	47,1	60,1	50,9	33,6	21,8	47,73	
O ₂	ppm	-	-	10,9	6,6	9,5	7,5	5,0	5,1	6,6	0,9	2,7	-	6,08	
tw	C°	7,0	6,6	2,8	5,3	4,3	8,3	9,3	15,6	17,8	16,8	15,8	15,2	10,4	
SiO ₂	ppm	4,5	7,0	6,0	7,0	7,0	6,5	2,0	6,0	6,0	9,0	12,5	12,0	7,12	
NO ₂	ppm	0,7	0,8	0,2	0,2	0,2	0,1	0,3	1,2	0,4	0,0	0,3	6,0	0,41	
Fe	ppm	0,0	0,0	0,0	+	0,0	0,0	0,2	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,04	
PO ₄	ppm	2,7	10,7	2,0	2,3	2,3	5,4	2,6	6,7	10,0	8,7	1,3	12,0	5,55	
LF	μS	420,0	650,0	480,0	550,0	510,0	705,0	550,0	700,0	765,0	830,0	730,0	760,0	637,50	
pH	-	7,7	7,6	7,8	7,5	8,0	7,8	8,3	7,9	7,7	7,6	7,6	7,5	7,75	
Ca	ppm	60,1	76,1	72,1	52,1	70,1	72,1	70,1	76,1	86,2	74,1	70,1	66,1	70,44	
Mg	ppm	19,5	26,8	26,8	19,5	37,7	41,3	32,8	26,8	38,9	34,0	36,5	48,6	32,51	
Cl	ppm	32,0	42,5	60,5	48,5	44,0	47,5	58,5	45,5	61,0	43,5	39,5	41,5	47,91	
KH	dH°	10,2	16,3	9,8	13,4	14,7	18,2	15,1	19,1	15,7	22,1	18,6	21,7	16,15	
GH	dH°	12,9	16,8	16,2	14,5	18,5	19,6	17,4	19,0	21,0	22,1	18,6	21,7	18,10	
NKH	dH°	2,7	0,5	6,4	0,0	4,8	1,4	2,3	0,0	5,3	0,0	0,0	0,0	1,95	
SO ₄	ppm	-	-	10,7	48,0	67,3	38,4	38,4	57,6	38,8	28,8	57,3	38,4	43,47	
m-Wert	$\frac{\text{mval}}{\text{l}}$	3,6	5,8	3,5	4,8	4,9	6,5	5,4	6,8	5,6	7,9	6,6	7,7	5,75	

Wasser der Aurach beim Eintritt in das Untersuchungsgebiet an der Meßstation (36)

Einh.	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	Jahr
KMnO ₄	ppm	32,5	24,3	17,1	20,5	19,6	26,9	27,0	33,5	28,1	19,9	19,6	24,05
O ₂	ppm	-	10,2	9,0	10,7	11,1	8,5	8,1	8,8	4,5	3,5	-	8,26
tw	°C	8,1	3,9	5,6	3,7	6,3	9,5	12,1	14,1	19,7	19,1	12,4	10,04
SiO ₂	ppm	8,0	7,0	12,0	7,5	7,0	5,5	8,0	8,0	11,0	11,5	10,5	8,75
NO ₂	ppm	0,2	0,2	0,2	0,3	2,5	0,2	0,5	1,0	0,0	0,8	1,2	0,62
Fe	ppm	0,0	0,0	0,0	0,0	+	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,01
PO ₄	ppm	3,3	0,0	0,7	2,0	2,0	1,3	4,0	4,0	5,3	3,7	9,4	3,25
LF	µS	665,0	400,0	495,0	500,0	560,0	490,0	590,0	525,0	670,0	660,0	655,0	569,58
pH	-	7,8	7,8	7,8	7,9	8,0	7,9	7,8	7,4	7,6	7,5	7,7	7,74
Ca	ppm	92,2	84,2	80,2	84,2	84,2	70,1	82,2	80,2	84,2	76,2	84,2	81,85
Mg	ppm	41,3	26,8	42,6	52,3	49,9	38,9	40,1	30,4	41,3	52,3	48,6	42,15
Cl	ppm	35,0	34,5	36,0	38,5	37,5	37,5	42,5	44,5	50,0	59,0	57,5	42,56
KH	dh°	15,7	8,4	12,0	13,6	14,8	11,5	14,4	12,6	15,7	16,8	16,4	13,91
GH	dh°	22,4	17,9	21,0	23,8	23,2	18,8	20,7	18,2	21,3	22,7	23,0	21,14
NKH	dh°	6,7	9,5	9,0	10,2	8,4	6,7	6,3	5,6	5,6	5,9	6,6	7,23
SO ₄	ppm	-	105,7	105,7	76,8	96,1	57,6	38,4	48,1	38,4	28,8	38,4	63,4
m-Wert	$\frac{\text{mval}}{\text{L}}$	5,6	5,4	4,3	4,9	5,3	4,1	5,1	4,5	5,6	6,0	5,9	4,97

Veränderung im Chemismus der Aurach nach dem Zufluß aller größeren Quellen und Bäche
bis zur Meßstation Höfen (37)

Einh.	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	Jahr	
KMnO ₄	ppm	17,6	25,4	23,1	19,3	21,5	15,5	28,4	25,0	33,2	29,9	16,4	17,5	22,73
O ₂	ppm	-	-	9,6	8,5	10,0	8,3	7,4	7,9	7,8	3,8	3,9	-	7,46
tw	C°	7,9	5,6	3,8	5,6	3,5	5,8	9,5	11,6	14,1	19,4	18,4	13,2	9,86
SiO ₂	ppm	7,0	8,8	8,5	7,0	8,0	7,0	6,0	8,0	8,5	8,0	12,0	11,0	8,31
NO ₂	ppm	0,2	0,3	0,1	0,2	0,2	0,4	0,2	0,6	0,9	0,0	0,7	1,1	0,40
Fe	ppm	0,0	0,0	+	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
PO ₄	ppm	2,0	3,3	1,3	1,6	1,3	1,3	1,1	2,0	3,3	6,0	1,3	9,2	2,80
LF	µS	615,0	610,0	410,0	500,0	515,0	565,0	505,0	590,0	490,0	650,0	660,0	635,0	562,08
pH	-	7,9	7,8	7,7	8,0	7,9	7,9	7,8	7,8	7,4	7,6	7,6	7,8	7,76
Ca	ppm	80,2	96,2	76,1	84,2	86,2	94,2	68,1	80,2	76,2	80,2	76,2	78,2	81,35
Mg	ppm	43,8	34,0	34,0	37,7	43,8	45,0	41,3	38,9	26,8	43,8	48,6	48,6	40,52
Cl	ppm	37,0	37,0	35,5	37,5	40,5	39,5	39,0	40,0	39,5	41,0	45,0	42,5	39,50
KH	dH°	14,0	18,1	9,1	12,4	14,9	14,7	12,2	14,0	11,3	12,2	19,3	19,7	14,25
GH	dH°	21,3	21,3	18,5	20,4	22,1	23,0	19,0	20,2	16,8	21,3	21,8	22,1	20,65
NKH	dH°	7,3	3,2	9,4	8,0	8,2	8,3	6,8	6,2	5,5	9,1	2,5	2,4	6,40
SO ₄	ppm	-	-	67,3	76,9	67,3	76,9	67,3	28,8	57,7	76,9	38,4	38,4	59,58
m-Wert	$\frac{mval}{L}$	5,0	6,4	3,2	4,4	4,9	5,2	4,3	5,0	4,0	5,3	6,9	7,0	5,13

Meßstation Neuhaus (38)

Untersuchungsdaten der Aurach kurz vor der Einmündung in die Regnitz. Die Meßstelle liegt zusammen mit der Rauhen Ebrach unmittelbar nach einem V-Tal in einer 1,5 km breiten Quartär-Vorterrasse.

Einh.	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	Jahr	
KMnO ₄	ppm	15,7	28,2	24,7	15,8	11,4	14,9	36,0	27,9	34,7	28,8	16,7	17,7	22,70
O ₂	ppm	-	-	9,8	9,0	10,4	11,3	9,0	7,7	7,6	3,7	6,3	-	8,31
tw	C°	7,8	5,9	3,8	5,7	3,2	6,2	9,7	11,9	14,2	19,6	18,5	12,9	9,95
SiO ₂	ppm	7,5	12,0	10,0	11,0	8,5	7,0	5,0	8,0	9,0	9,0	11,5	11,0	9,12
NO ₂	ppm	0,2	0,3	0,1	0,2	0,3	0,2	0,2	0,7	0,9	0,0	0,3	0,8	0,35
Fe	ppm	0,0	0,0	+	0,0	+	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,02
PO ₄	ppm	1,3	2,7	1,3	0,1	2,0	1,3	1,3	2,7	2,7	6,0	3,3	10,7	2,95
LF	µS	600,0	605,0	400,0	500,0	510,0	560,0	495,0	570,0	530,0	655,0	650,0	655,0	560,83
pH	-	8,0	7,9	7,8	7,9	8,1	8,2	8,0	7,9	7,5	7,6	7,7	7,9	7,87
Ca	ppm	84,2	100,2	96,2	86,2	86,2	84,2	68,1	82,2	74,1	82,2	80,2	86,2	84,10
Mg	ppm	43,3	29,2	19,5	37,7	45,0	46,2	46,2	45,0	30,4	38,9	48,6	45,0	39,45
Cl	ppm	35,0	36,0	36,0	35,0	36,0	38,5	42,5	39,0	48,0	44,5	51,5	54,5	41,37
KH	dH°	14,8	15,2	9,1	12,6	13,7	14,8	11,9	14,0	11,5	14,6	16,5	16,2	13,75
GH	dH°	21,3	20,7	17,9	20,7	22,4	22,4	20,2	21,8	17,4	20,4	22,4	22,4	20,83
NKH	dH°	6,5	5,5	8,8	8,1	8,7	7,6	8,3	7,8	5,9	5,8	5,9	6,2	7,08
SO ₄	ppm	-	-	105,7	96,1	67,3	57,7	67,3	57,7	38,4	38,4	48,1	38,4	61,51
m-Wert	mval	5,3	5,4	3,2	4,5	4,9	5,3	4,2	5,0	4,1	5,2	5,9	5,8	4,90

Abb. 85

Jährliche Veränderung des Chemismus des Rauhen Ebrach gemessen vor der Einmündung
in die Regnitz nördlich von Pettstadt (39)

Einh.	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	Jahr
KMnO ₄	ppm	14,9	27,8	26,2	18,0	12,3	27,2	21,8	29,9	33,0	18,6	15,8	21,40
O ₂	ppm	-	-	11,3	10,0	10,5	8,8	8,2	6,3	5,5	5,9	-	8,62
tw	C°	7,8	6,1	3,7	5,7	2,3	6,3	9,0	12,8	15,2	19,2	12,9	10,12
SiO ₂	ppm	7,0	9,0	8,5	8,0	8,5	7,5	6,5	7,5	7,0	9,5	10,0	7,87
NO ₂	ppm	0,2	0,8	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,5	0,0	0,3	1,2	0,30
Fe	ppm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,02
PO ₄	ppm	0,0	1,3	2,0	0,0	0,7	0,0	2,0	2,0	6,0	2,0	10,0	2,16
LF	LS	675,0	640,0	330,0	475,0	505,0	370,0	550,0	640,0	750,0	760,0	740,0	585,00
pH	-	7,9	7,8	7,7	7,9	8,0	8,2	8,0	7,6	7,8	7,7	7,8	7,87
Ca	ppm	108,2	100,2	60,1	84,2	92,2	100,2	90,2	100,2	96,2	110,2	112,2	92,85
Mg	ppm	38,9	34,0	29,2	41,3	46,2	28,0	36,5	35,3	41,3	52,2	40,1	39,10
Cl	ppm	35,0	34,0	29,0	31,5	34,0	30,5	34,0	46,0	48,0	56,0	41,0	37,79
KH	dH°	13,7	14,0	6,2	10,4	14,0	8,1	11,9	12,6	13,6	15,3	14,4	12,17
GH	dH°	24,1	21,8	15,1	21,3	23,5	14,8	21,0	22,1	23,0	27,4	24,9	21,96
NKH	dH°	10,4	8,8	8,9	10,9	9,5	6,7	9,1	9,5	9,4	12,1	9,5	9,79
SO ₄	ppm	-	-	86,5	96,1	115,3	57,7	48,1	67,3	28,8	38,4	28,8	63,43
m-Wert	mval	4,9	4,6	2,2	3,7	5,0	2,9	4,2	4,5	4,8	5,4	5,1	4,32
	L												
Pegel	cm	192	140	275	199	188	190	153	147	138	127	118	166,36

Meßstation Reundorf (40)

Veränderung der physikalischen und chemischen Beschaffenheit der Rauhen Ebrach
nach dem Zufluß der Abwässer aus den anliegenden Betrieben und Dörfern.

	Einh.	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	Jahr
KMnO ₄	ppm	15,7	32,5	26,9	18,0	13,6	12,3	25,9	25,3	26,5	26,7	17,1	14,1	21,28
O ₂	ppm	-	-	10,7	10,2	11,0	12,2	9,2	9,4	10,0	4,9	6,4	-	9,33
tw	C°	7,8	6,2	3,8	5,5	2,6	6,2	9,2	12,6	14,2	19,7	19,6	13,2	10,05
SiO ₂	ppm	7,0	9,5	7,5	10,5	8,5	5,0	6,5	6,0	8,0	7,0	10,0	9,5	7,91
NO ₂	ppm	0,2	0,4	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,5	0,0	0,2	0,9	0,24
Fe	ppm	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,01
PO ₄	ppm	0,0	2,0	0,7	0,0	0,7	1,1	0,0	2,0	1,3	2,7	1,3	7,4	1,60
LF	LS	670,0	650,0	350,0	470,0	500,0	590,0	330,0	575,0	650,0	740,0	770,0	775,0	587,50
pH	-	7,9	7,8	7,7	7,9	8,0	7,1	7,8	7,0	7,8	7,8	7,8	7,8	7,86
Ca	ppm	104,2	104,2	64,1	82,2	92,2	104,2	62,1	88,2	104,2	106,2	116,2	110,2	94,85
Mg	ppm	41,3	36,5	31,6	42,6	45,0	37,7	32,8	44,7	34,0	34,0	43,7	42,6	38,87
Cl	ppm	32,0	31,5	28,5	34,5	34,0	32,5	30,5	37,0	38,0	38,0	42,5	39,5	35,55
KH	dH°	14,8	13,2	8,5	15,5	14,0	12,7	8,0	12,3	11,9	11,2	15,7	15,0	12,73
GH	dH°	24,1	23,0	16,2	21,3	23,2	23,2	16,2	23,2	22,4	22,7	26,3	25,2	22,28
NKH	dH°	9,3	9,8	7,7	5,8	9,2	10,5	8,2	10,9	10,5	11,5	10,6	10,2	9,55
SO ₄	ppm	-	-	57,7	48,1	124,3	76,9	48,0	57,6	76,9	67,3	38,4	38,4	63,36
m-Wert	mval	5,3	4,7	3,0	5,5	5,0	4,4	2,8	4,4	4,2	4,8	5,6	5,5	4,60

Abb. 87

Chemische und physikalische Veränderung im offenen Grundwasser westlich von Unterstürmig (41) innerhalb eines Jahres

Einh.	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	Jahr	
KMnO ₄	ppm	22,7	5,7	10,4	7-4	6,8	9,5	17,4	14,2	14,0	9,1	10,7	19,3	12,18
O ₂	ppm	-	11,0	10,9	10,3	8,0	11,3	10,0	8,2	6,9	7,8	8,2	-	9,25
tw	C°	6,9	5,8	3,6	5,3	3,7	6,4	12,2	19,3	21,8	21,8	21,9	16,8	10,30
SiO ₂	ppm	1,8	3,0	3,5	4,0	4,0	4,0	3,0	2,0	2,0	2,5	0,7	1,5	2,66
NO ₂	ppm	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,15
Fe	ppm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
PO ₄	ppm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
LF	µS	390,0	410,0	410,0	470,0	415,0	480,0	470,0	475,0	460,0	370,0	375,0	380,0	425,41
pH	-	8,7	7,9	8,0	8,0	8,1	8,1	8,0	7,4	8,0	7,8	8,2	8,1	7,98
Ca	ppm	96,1	88,1	122,2	100,2	108,2	100,2	134,3	86,2	76,2	56,1	76,2	86,2	94,18
Mg	ppm	4,8	17,0	4,9	21,9	14,6	12,2	9,7	10,9	17,0	23,1	4,9	8,5	12,45
Cl	ppm	21,0	22,0	24,5	26,5	28,5	27,0	38,0	32,0	32,0	32,5	33,0	28,5	31,16
KH	dH°	9,0	9,1	9,0	8,8	11,1	10,2	9,8	8,4	7,1	4,6	4,3	8,7	8,34
GH	dH°	14,6	16,2	19,0	19,0	18,5	16,8	15,4	14,6	14,6	13,2	11,8	14,0	15,64
NKH	dH°	5,6	7,1	10,0	10,2	7,4	6,6	5,6	6,2	7,5	8,6	7,5	5,3	7,30
SO ₄	ppm	-	76,8	86,5	105,7	76,8	67,3	48,1	38,4	48,1	67,3	67,3	57,6	67,26
m-Wert	mval	3,2	3,2	3,2	3,1	3,9	3,6	3,4	3,0	3,9	1,6	1,5	3,1	3,05

Beurteilung des Malm-Brunnenwassers in Tiefenhöchststadt (42) in dem Zeitraum von
Oktober 1974 bis einschließlich September 1975

Einh.	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	Jahr	
KMnO ₄	ppm	16,1	5,1	8,6	7,0	1,3	3,5	15,6	17,4	10,3	4,5	12,3	13,1	9,56
O ₂	ppm	-	8,6	10,5	9,6	7,1	10,5	9,8	8,9	8,8	9,9	10,9	9,4	9,13
tw	C°	8,9	8,2	8,2	7,8	7,6	7,5	8,2	8,7	9,3	9,9	10,9	9,4	7,89
SiO ₂	ppm	6,0	6,0	4,0	4,5	3,5	4,0	4,0	4,5	6,0	5,0	5,5	5,5	4,87
NO ₂	ppm	0,1	0,1	0,1	+	+	0,0	0,0	0,4	0,0	0,1	0,0	0,1	0,07
Fe	ppm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
PO ₄	ppm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	0,0	0,7	0,0	0,0	0,16
LF	uS	430,0	380,0	380,0	395,0	365,0	390,0	380,0	430,0	440,0	420,0	420,0	425,0	404,58
pH	-	7,9	7,6	7,5	7,8	8,0	8,0	7,8	7,8	7,4	7,2	7,2	7,6	7,65
Ca	ppm	108,2	112,2	134,3	108,2	118,2	108,2	100,2	102,2	102,2	106,2	108,2	108,2	109,70
Mg	ppm	2,4	0,0	0,0	7,3	2,4	3,6	4,9	6,0	0,0	7,3	4,9	3,6	3,53
Cl	ppm	19,0	17,0	14,5	18,5	17,5	15,5	14,5	26,5	28,0	20,0	21,5	20,5	19,41
KH	dH°	12,3	12,6	12,9	11,5	12,2	12,7	11,0	12,6	12,0	12,6	13,3	12,7	12,33
GH	dH°	15,7	15,7	19,9	16,8	17,1	16,0	15,1	15,7	14,8	16,5	16,2	16,0	16,25
NKH	dH°	3,4	3,1	7,0	5,3	4,1	3,3	4,1	3,1	2,8	3,9	2,9	3,3	3,92
SO ₄	ppm	-	76,8	115,3	67,2	48,1	28,8	48,1	28,8	19,2	38,4	28,8	38,4	48,90
m-Wert	mval	4,4	4,5	4,6	4,1	4,3	4,5	3,9	4,5	4,3	4,5	4,7	4,6	4,40
I														

Jährliche Untersuchungsdaten des Malm-Brunnen in Frankendorf (43)

	Einh.	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	Jahr
KMnO ₄	ppm	16,5	3,2	6,3	5,7	1,6	8,5	7,0	17,1	7,1	4,7	9,5	7,6	8,49
O ₂	ppm	-	9,5	9,4	9,4	7,1	9,0	9,4	9,3	9,2	8,8	7,9	-	8,90
tw	C°	8,4	7,8	6,4	6,6	5,2	6,2	9,2	11,3	10,8	10,8	10,9	10,3	8,65
SiO ₂	ppm	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,5	6,0	3,0	6,5	6,0	7,0	6,5	5,95
NO ₂	ppm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	+	0,0	0,0	+	0,0	0,0
Fe	ppm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
PO ₄	ppm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
LF	μS	440,0	375,0	420,0	435,0	430,0	430,0	430,0	410,0	455,0	430,0	445,0	440,0	428,33
pH	-	7,9	7,7	7,2	7,2	7,3	7,4	7,4	7,6	7,4	7,3	7,4	7,6	7,45
Ca	ppm	120,2	108,2	132,3	112,2	116,2	116,2	112,2	100,2	104,2	108,2	102,2	112,2	112,04
Mg	ppm	2,4	9,7	17,0	14,6	17,0	9,7	9,7	7,2	3,6	3,6	10,9	6,1	9,29
Cl	ppm	13,0	10,0	11,0	13,5	14,0	13,5	19,0	14,0	23,0	18,5	15,0	14,0	14,87
KH	dH°	13,2	12,7	12,7	12,3	13,6	12,6	12,5	11,5	12,0	12,9	12,5	14,6	12,75
GH	dH°	17,4	17,4	22,4	19,0	20,2	18,5	17,9	15,7	15,4	16,0	16,8	17,1	17,81
NKH	dH°	4,2	4,7	9,7	6,7	6,6	5,9	5,4	4,2	3,4	3,1	4,3	2,5	5,06
SO ₄	ppm	-	76,9	105,7	67,2	67,2	38,4	38,4	38,4	28,8	28,8	48,1	28,8	51,51
m-Wert	mval	4,7	4,5	4,5	4,4	4,7	4,5	4,4	4,1	4,3	4,6	4,4	5,2	4,52
L														

Messstation Stackendorf (44)

Chemische und physikalische Beschaffenheit des Malm-Brunnenwassers in der Zeit von
Oktober 1974 bis September 1975

Einhh.	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	Jahr
KMnO ₄	ppm	21,2	4,7	9,8	5,4	2,5	9,3	10,7	7,6	10,0	5,4	4,4	8,13
O ₂	ppm	-	7,2	10,9	9,9	8,5	10,4	10,1	10,0	9,1	9,3	9,9	9,53
tw	C°	9,2	7,8	6,4	7,8	5,6	7,2	8,2	9,7	10,1	10,1	9,8	8,47
SiO ₂	ppm	5,6	5,5	4,0	5,0	4,0	5,0	5,0	4,5	5,5	5,0	5,5	4,96
NO ₂	ppm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Fe	ppm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
PO ₄	ppm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
LF	µS	380,0	320,0	320,0	360,0	325,0	360,0	370,0	390,0	390,0	375,0	400,0	365,0
pH	-	7,5	7,2	7,2	7,3	7,7	7,7	7,6	7,6	7,6	7,3	7,2	7,43
Ca	ppm	100,2	100,2	120,2	102,2	100,2	106,2	98,2	96,2	104,2	94,2	102,2	102,2
Mg	ppm	4,8	0,0	0,0	8,5	12,2	0,0	2,4	7,3	3,6	7,3	8,5	5,05
Cl	ppm	16,0	10,0	9,0	14,0	12,5	11,5	15,5	21,0	20,5	18,5	16,5	15,16
KH	dH°	12,0	11,2	10,6	10,5	10,4	10,9	10,9	11,1	11,1	11,9	11,9	11,51
GH	dH°	15,1	14,0	16,8	16,2	16,8	14,8	14,3	15,1	15,4	14,8	16,2	15,43
NKH	dH°	3,1	2,8	5,2	5,7	5,4	3,9	3,4	4,0	4,3	2,9	4,3	3,92
SO ₄	ppm	-	19,2	38,4	38,4	38,4	28,8	28,8	28,8	28,8	19,2	28,8	28,8
m-Wert $\frac{\text{mval}}{\text{L}}$		4,3	4,0	3,8	3,7	3,7	3,9	3,9	3,9	3,9	4,2	4,2	4,01

Abb. 91

Chemismus und Beschaffenheit des Wassers der drei vorgenannten Brunnen (- 42, 43 und 44)
nach dem Einleiten in den Deichselbach bei der Meßstation Dreuschendorf (45)

Einh.	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	Jahr	
KMnO ₄	ppm	14,5	23,7	13,9	14,5	27,8	22,1	19,1	16,0	27,8	25,6	56,6	19,3	23,40
O ₂	ppm	-	9,0	12,0	10,5	8,6	11,1	9,8	8,3	7,9	6,5	5,9	-	8,96
tw	C°	7,2	7,5	6,8	5,1	3,5	5,3	9,6	14,4	15,2	15,2	15,6	13,2	9,88
SiO ₂	ppm	7,5	5,5	6,0	5,0	4,0	4,0	4,0	4,5	6,5	6,0	7,5	7,0	5,62
NO ₂	ppm	0,2	0,2	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,3	0,4	1,5	0,8	0,6	0,35
Fe	ppm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,02
PO ₄	ppm	0,0	0,0	0,7	0,0	0,0	0,7	0,7	0,4	0,4	1,3	3,7	3,3	0,93
LF	µS	500,0	370,0	395,0	435,0	410,0	490,0	460,0	475,0	505,0	475,0	480,0	495,0	457,50
pH	-	7,9	7,8	8,2	8,1	8,1	8,2	8,2	8,0	8,0	7,2	7,4	7,8	7,90
Ca	ppm	120,2	112,2	138,3	112,2	116,2	108,2	112,2	112,2	116,2	110,2	94,2	106,2	113,2
Mg	ppm	4,8	4,9	9,7	9,7	9,7	10,9	8,5	9,7	10,9	10,9	9,7	7,2	8,88
Cl	ppm	22,0	37,0	15,5	18,0	24,5	21,0	21,0	25,0	26,5	29,0	32,5	34,5	23,66
KH	dH°	13,7	12,0	12,6	12,0	12,7	6,7	12,2	13,2	12,0	13,0	13,0	13,7	12,23
GH	dH°	17,9	16,8	21,3	17,9	18,5	17,6	17,6	17,9	18,8	17,9	15,4	16,5	17,84
NKH	dH°	4,2	4,8	8,7	5,9	5,8	10,9	5,4	4,7	6,8	4,9	2,4	2,8	5,61
SO ₄	ppm	-	76,9	96,1	96,9	76,9	96,1	48,1	48,1	76,9	48,1	28,8	28,8	65,53
m-Wert	<u>mval</u>	4,9	4,3	4,5	4,3	4,5	2,4	4,3	4,7	4,3	4,6	4,6	4,9	4,35
<u>L</u>														

Meßstation Ketschendorf (46)

Chemismus der Doggersandstein-Quelle in der Zeit vom Oktober 1974 bis einschließlich September 1975

Einh.	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	Jahr
KMnO ₄	ppm	14,5	5,4	6,6	11,4	3,8	19,3	14,5	17,7	12,8	12,0	13,0	11,57
O ₂	ppm	-	4,2	8,3	8,4	6,9	8,1	8,0	6,9	6,9	7,0	8,1	7,28
tw	CO	7,9	8,0	6,9	6,8	6,4	7,8	8,7	10,5	11,6	12,3	13,1	9,17
SiO ₂	ppm	6,5	6,5	6,5	7,0	5,0	6,5	6,5	6,0	7,0	6,5	6,5	6,37
NO ₂	ppm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	+	0,0	+	0,0	0,0
Fe	ppm	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	+	0,1	0,0	0,05
PO ₄	ppm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	0,0	0,10
LF	µS	460,0	345,0	375,0	390,0	360,0	380,0	420,0	420,0	420,0	405,0	420,0	402,50
pH	-	7,4	7,4	7,3	7,5	7,6	7,6	7,6	7,5	7,5	7,3	7,4	7,46
Ca	ppm	108,2	112,2	132,2	106,2	112,2	112,2	102,2	104,2	106,2	104,2	104,2	109,20
Mg	ppm	0,6	2,4	12,1	7,3	2,4	2,4	8,5	1,2	8,5	2,4	9,7	5,30
Cl	ppm	8,0	8,5	9,5	10,5	13,0	12,5	16,5	15,5	18,5	17,5	15,0	13,04
KH	dH°	12,6	7,8	12,0	11,9	12,2	15,4	12,3	13,2	12,6	12,9	12,5	12,31
GH	dH°	16,5	16,2	21,3	16,5	16,2	16,2	16,2	14,8	16,8	15,1	16,8	16,56
NKH	dH°	3,9	8,4	9,3	4,6	4,0	0,8	3,9	1,6	4,2	2,2	4,3	4,25
SO ₄	ppm	-	105,7	115,3	48,1	38,4	19,2	38,4	28,8	38,4	28,8	38,4	48,02
m-Wert	mval	4,5	4,7	4,3	4,2	4,3	5,5	4,4	4,7	4,5	4,6	4,4	4,52
L													

Abb. 93

Chemische und physikalische Beschaffenheit der Lias-Quelle östlich von
Seigendorf (47)

Einh.	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	Jahr	
KMnO ₄	ppm	37,6	7,9	9,2	11,7	11,7	16,4	14,9	11,1	12,6	7,6	8,5	22,1	13,44
O ₂	ppm	-	2,3	5,3	2,5	0,3	2,1	1,4	2,7	6,1	1,1	2,2	-	2,60
tw	C°	7,0	7,1	4,8	9,3	7,8	8,0	10,2	10,4	14,6	12,3	11,8	12,4	9,64
SiO ₂	ppm	8,0	7,0	6,5	9,0	8,5	10,0	8,0	12,5	10,0	9,0	11,0	10,0	9,12
NO ₂	ppm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Fe	ppm	0,1	0,1	0,1	0,2	0,6	0,3	0,8	0,1	0,4	0,1	0,1	0,1	0,25
PO ₄	ppm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	0,10
LF	μS	760,0	1025	720,0	1050	1150	1110	1060	1400	1400	1280	1150	1160	988,75
pH	-	6,9	6,8	7,6	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,9	6,7	6,8	6,8	68,75
Ca	ppm	152,3	340,6	196,4	262,5	300,6	270,5	240,5	240,5	300,6	304,6	262,5	250,5	260,17
Mg	ppm	29,1	9,7	43,8	47,4	58,4	49,9	58,4	121,6	53,2	55,9	55,9	48,6	53,49
Cl	ppm	26,5	25,5	27,5	25,5	28,0	25,0	32,0	36,0	32,5	31,5	32,0	35,0	29,75
KH	dH°	11,2	20,4	13,2	16,7	19,6	19,2	19,2	20,6	21,0	20,2	23,4	23,5	19,01
GH	dH°	28,0	49,8	37,5	47,5	55,4	49,3	47,0	61,6	56,6	53,8	49,6	46,2	48,52
NKH	dH°	16,8	29,4	24,3	30,8	35,8	30,1	27,8	41,0	35,6	32,6	25,8	22,7	29,51
SO ₄	ppm	-	182,6	153,7	172,9	182,6	211,4	163,4	163,4	221,0	105,8	86,5	76,9	156,38
m-Wert	$\frac{mval}{L}$	4,0	7,3	4,7	8,0	7,0	6,8	6,8	7,3	7,5	7,2	8,3	8,4	6,94

Untersuchungsdaten des offenen Grundwassers in der großen Kiesgrube südlich
von Hirschaid (48)

	Einh.	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	Jahr
KMnO ₄	ppm	28,2	11,4	10,7	13,0	5,1	20,9	24,3	23,9	20,2	11,7	12,3	15,0	16,40
O ₂	ppm	-	11,5	12,1	11,8	9,9	11,0	10,0	7,9	8,2	7,8	8,2	-	9,84
tw	C°	6,8	6,0	3,2	3,8	2,7	6,0	12,6	19,8	21,4	21,3	21,5	16,5	11,8
SiO ₂	ppm	0,3	0,3	1,3	1,8	0,5	0,0	0,5	0,0	0,1	0,2	1,5	2,2	0,72
NO ₂	ppm	0,0	+	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	+	0,0
Fe	ppm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
PO ₄	ppm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
LF	µS	260,0	280,0	295,0	350,0	335,0	330,0	340,0	270,0	325,0	305,0	320,0	340,0	312,50
pH	-	8,2	8,5	8,1	8,1	8,4	8,4	8,0	8,4	8,6	8,2	8,0	8,3	8,26
Ca	ppm	64,1	60,1	84,2	76,2	80,2	74,1	74,1	48,1	60,1	60,1	58,1	76,1	67,95
Mg	ppm	4,8	14,6	12,1	12,1	14,6	14,6	6,1	13,4	21,9	4,9	14,6	2,4	11,34
Cl	ppm	20,0	24,0	21,5	24,0	26,5	32,0	32,5	31,0	31,0	29,0	34,0	27,5	27,75
KH	dH°	6,4	8,7	5,0	5,7	6,2	7,3	6,0	5,7	7,0	4,8	4,6	5,0	6,03
GH	dH°	10,1	11,8	14,6	13,4	14,6	13,7	11,8	9,8	13,4	9,5	11,5	11,2	12,11
NKH	dH°	3,7	3,1	9,6	7,7	8,4	6,4	5,8	4,1	6,4	4,7	6,9	6,2	6,08
SO ₄	ppm	-	28,8	96,1	67,3	86,4	57,7	28,8	28,8	38,4	28,8	38,4	38,4	48,90
m-Wert	mval	2,3	3,1	1,8	2,0	2,2	2,6	2,1	2,0	2,5	1,7	1,6	1,8	2,14
L														

Meßstation Altendorf (49)

Beurteilung der Wasserproben des Deichselbaches unmittelbar vor der Einmündung
in die Regnitz

	Einh.	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	Jahr
KMnO ₄	ppm	15,3	27,5	12,6	7,0	5,1	21,5	18,0	12,8	27,2	14,9	32,6	16,8	17,60
O ₂	ppm	-	8,2	11,0	11,3	10,1	11,5	8,2	9,0	8,6	7,7	8,5	-	9,41
tw	°C	7,0	7,8	6,4	4,4	2,7	5,7	13,9	16,9	17,7	18,2	17,8	14,8	11,10
SiO ₂	ppm	6,5	6,0	5,5	5,5	4,0	2,0	3,5	4,5	7,0	5,0	6,0	6,0	5,12
NO ₂	ppm	0,3	0,2	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	1,1	0,4	0,4	0,8	0,7	0,34
Fe	ppm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
PO ₄	ppm	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	1,3	3,3	0,65
LF	µS	540,0	420,0	410,0	465,0	430,0	440,0	420,0	505,0	520,0	530,0	450,0	590,0	476,66
pH	-	8,2	8,1	8,2	8,2	8,3	8,8	8,8	8,3	8,3	8,2	7,8	8,5	8,30
Ca	ppm	128,2	64,1	156,3	118,2	126,3	102,2	106,2	116,2	108,2	118,2	90,2	124,2	113,20
Mg	ppm	7,2	34,0	0,0	13,4	18,2	17,0	13,8	12,2	24,3	7,3	10,9	26,8	15,42
Cl	ppm	32,0	19,5	20,0	22,0	29,0	23,0	24,5	32,5	30,5	30,5	42,0	34,0	28,29
KH	dH°	13,4	13,0	12,7	11,9	13,3	10,8	11,4	12,6	13,3	15,1	9,3	16,1	12,74
GH	dH°	19,6	16,8	21,8	19,6	21,8	18,2	17,9	19,0	15,7	18,2	15,1	23,5	18,93
NKH	dH°	6,2	3,8	9,1	7,7	8,5	7,4	6,5	6,4	2,4	3,1	5,8	7,4	6,19
SO ₄	ppm	-	38,4	107,7	96,1	96,1	76,9	67,3	67,3	28,8	38,4	48,1	67,3	66,58
m-Wert	mval	4,8	4,6	4,5	4,2	4,7	3,8	4,1	4,7	4,7	5,4	3,3	5,7	4,54
	L													

Beschaffenheit des offenen Grundwassers in der großen Sandgrube bei Seußling (50)
zwischen Regnitz und Main-Donau-Kanal

Einh.	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	Jahr	
KMnO ₄	ppm	21,4	10,4	16,4	14,2	12,0	20,5	26,4	14,5	16,9	10,1	12,0	17,4	16,01
O ₂	ppm	-	11,8	11,2	10,9	11,2	10,1	9,4	8,2	7,7	7,8	6,5	-	9,48
tw	C°	7,2	6,1	5,8	4,8	4,7	6,9	12,3	19,1	21,6	21,6	22,1	16,9	12,42
SiO ₂	ppm	2,0	4,0	6,0	7,0	1,7	1,2	3,5	3,5	4,0	3,0	3,0	2,5	4,03
NO ₂	ppm	0,2	0,2	0,1	0,0	0,4	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,6	0,8	0,28
Fe	ppm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
PO ₄	ppm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
LF	µS	360,0	375,0	370,0	470,0	370,0	430,0	390,0	370,0	390,0	380,0	390,0	365,0	388,33
pH	-	8,4	8,5	8,1	8,3	8,4	8,4	8,6	8,5	8,7	8,1	8,3	8,3	8,38
Ca	ppm	60,1	60,1	88,2	90,2	82,2	74,1	60,1	65,1	46,1	50,1	64,1	56,1	65,45
Mg	ppm	14,5	12,2	12,2	23,1	13,4	13,4	21,9	19,5	23,1	10,2	7,3	14,6	15,45
Cl	ppm	30,0	34,5	30,5	35,0	35,0	35,0	38,0	36,0	37,5	38,5	29,5	34,5	34,50
KH	dh°	8,1	8,3	8,3	10,4	8,0	8,1	7,7	5,6	5,3	6,3	6,1	8,4	7,55
GH	dh°	11,8	11,2	15,1	17,9	14,6	14,5	14,5	12,0	11,8	11,2	10,6	11,2	12,85
NKH	dh°	3,7	2,9	6,8	7,5	6,6	5,3	5,7	6,4	6,5	4,9	4,5	2,8	5,30
SO ₄	ppm	-	38,4	67,3	96,1	57,6	48,1	48,1	57,6	57,6	48,1	48,1	38,4	50,45
m-wert	mval	2,9	2,9	2,9	3,7	2,8	2,9	2,7	2,0	1,9	2,2	2,2	2,9	2,66
	L													

Abb. 97

Beschaffenheit des Wassers der kleinen Dogger-Quelle nördlich von Friesen (51)
während der Zeit vom Oktober 1974 bis einschließlich April 1975

Einh.	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	Jahr
KMnO ₄	ppm	27,8	22,4	12,6	13,3	9,5	20,9	31,3					19,68
O ₂	ppm	-	11,5	11,8	9,9	2,2	8,5	7,5		T	T	T	8,56
tw	°C	6,8	6,0	3,6	3,4	4,5	4,7	10,9					5,70
SiO ₂	ppm	8,5	5,0	6,0	4,0	4,0	4,0	4,0	R	R	R	R	5,92
NO ₂	ppm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					0,0
Fe	ppm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	O	O	O	O	0,0
PO ₄	ppm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					0,0
LF	µS	520,0	250,0	260,0	225,0	235,0	255,0	270,0	C	C	C	C	287,85
pH	-	7,6	7,0	7,2	7,3	6,6	6,9	7,7					7,18
Ca	ppm	120,2	60,1	68,1	60,1	60,1	72,1	66,1	K	K	K	K	72,40
Mg	ppm	34,3	2,4	7,3	7,3	12,2	7,3	8,5					9,90
Cl	ppm	16,5	7,5	9,0	14,0	17,5	12,5	17,5					13,50
KH	dH°	7,8	4,2	3,5	4,1	5,9	4,6	7,0	E	E	E	E	5,30
GH	dH°	22,4	9,0	11,2	10,1	11,2	11,8	11,2					12,41
NKH	dH°	14,6	4,8	7,7	6,0	5,3	7,2	4,2	N	N	N	N	7,11
SO ₄	ppm	-	48,1	96,1	67,3	57,7	76,9	38,4					64,08
m-Wert	$\frac{\text{mval}}{\text{L}}$	2,8	1,5	1,2	1,4	2,1	1,6	2,5					1,87

Abb. 98

Meßstation Wernsdorf (52)

Chemische und physikalische Beschaffenheit des Zeigenbaches nach einer Entfernung von ca. 8,1 km von seinen Quellen

	Einh.	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	Jahr
KMnO ₄	ppm	17,3	35,7	9,8	10,4	14,2	20,1	13,1	14,5	14,2	10,4	10,5	17,1	15,60
O ₂	ppm	-	10,3	11,3	10,5	5,2	11,2	9,6	9,3	7,5	6,9	7,1	-	8,89
tw	C°	7,6	7,4	6,2	5,5	6,4	5,0	9,5	8,7	11,2	14,6	13,4	12,1	8,96
SiO ₂	ppm	5,5	6,5	6,0	5,5	6,5	4,0	5,5	5,5	5,0	7,0	6,5	6,0	5,79
NO ₂	ppm	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,2	0,2	0,2	0,1	1,8	0,25
Fe	ppm	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,02
PO ₄	ppm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,7	0,4	2,7	2,7	0,0	0,56
LF	uS	500,0	375,0	460,0	440,0	430,0	390,0	470,0	490,0	460,0	520,0	530,0	580,0	462,91
pH	-	7,8	7,7	8,1	8,0	7,7	8,1	8,1	7,9	7,8	7,6	7,8	7,7	7,85
Ca	ppm	116,2	96,2	128,3	116,2	124,2	106,2	116,2	102,2	108,2	114,2	120,2	118,2	113,87
Mg	ppm	7,3	4,9	4,9	2,4	7,3	10,9	4,9	29,2	18,2	15,8	3,6	3,6	9,41
Cl	ppm	23,0	19,5	25,0	24,0	36,0	24,5	28,5	29,0	27,5	33,5	34,5	48,5	29,45
KH	dH°	12,6	10,1	11,9	12,3	12,6	11,8	12,6	11,8	11,9	12,9	11,5	13,2	12,10
GH	dH°	17,9	14,6	19,0	16,8	19,0	17,4	17,4	18,8	19,3	19,6	17,7	17,4	17,90
NKH	dH°	5,3	4,5	7,1	4,5	6,3	5,6	4,8	7,0	7,4	6,7	6,2	4,2	5,80
SO ₄	ppm	-	57,7	96,1	48,1	86,5	86,9	57,7	96,1	105,1	86,5	86,5	48,1	76,84
m-Wert	$\frac{\text{mval}}{L}$	4,5	3,6	4,2	4,4	4,5	4,2	4,5	4,2	4,2	4,6	4,1	4,0	4,25

Meßstation (53)

Untersuchungsdaten der kleinen Quelle im Dogger-Beta nördlich der Straße
 Mistendorf/Zeesendorf während der Zeit ihrer Ergiebigkeit von Oktober 1974
 bis einschließlich Februar 1975

Einh.	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	Jahr
KMnO ₄	ppm	15,7	29,4	16,8	5,1	9,5							15,30
O ₂	ppm	-	10,5	11,5	7,3	2,3		T	T	T	T	T	7,90
tw	C°	7,9	7,6	3,6	4,8	4,9							5,75
SiO ₂	ppm	3,0	8,0	5,5	3,5	3,0	R	R	R	R	R	R	4,80
NO ₂	ppm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0							0,0
Fe	ppm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	O	O	O	O	O	O	0,0
PO ₄	ppm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0							0,0
LF	µS	440,0	435,0	360,0	405,0	430,0	C	C	C	C	C	C	414,0
pH	-	7,7	7,6	8,2	7,3	7,3							7,62
Ca	ppm	116,2	120,2	112,2	112,2	116,2	K	K	K	K	K	K	115,40
Mg	ppm	0,0	0,0	4,9	8,5	4,9							3,65
Cl	ppm	21,5	54,0	18,0	25,5	26,0	E	E	E	E	E	E	29,00
KH	dH°	10,9	11,5	9,4	9,9	12,6							10,85
GH	dH°	16,2	16,8	16,8	17,6	17,4	N	N	N	N	N	N	16,96
NKH	dH°	5,3	5,3	7,4	7,7	4,8							6,11
SO ₄	ppm	-	48,1	57,7	57,7	48,1							52,90
m-Wert	$\frac{\text{mval}}{\text{L}}$	3,9	4,1	3,3	3,5	4,5							3,86

Chemische und physikalische Untersuchungsdaten des Malm-Quellsystems östlich von Zeegendorf (54) im Zeitraum eines ganzen Jahres

Einh.	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	Jahr
KMnO ₃	ppm	14,1	5,7	9,5	10,0	10,1	14,7	8,0	14,2	13,9	9,5	13,0	13,7
O ₂	ppm	-	9,2	10,7	9,6	2,4	9,5	8,3	9,3	8,9	8,3	8,3	-
tw	C°	9,1	8,2	8,5	8,4	8,6	7,9	9,3	9,4	9,3	11,4	11,2	10,2
SiO ₂	ppm	1,5	4,0	4,5	4,0	5,0	4,0	4,5	4,0	5,0	4,5	4,5	3,0
NO ₂	ppm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Fe	ppm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
PO ₄	ppm	2,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
LF	μS	510,0	480,0	485,0	475,0	410,0	480,0	500,0	510,0	630,0	480,0	570,0	560,0
pH	-	7,8	7,7	8,0	7,7	8,0	7,9	8,0	7,9	7,6	7,7	8,0	7,9
Ca	ppm	84,1	104,2	124,2	110,2	108,2	114,2	100,2	110,2	116,2	98,2	96,2	93,1
Mg	ppm	0,0	9,7	14,6	12,2	9,5	2,4	3,6	2,4	10,9	17,0	15,8	6,1
Cl	ppm	33,0	63,0	44,0	56,0	59,0	79,0	59,0	62,5	123,5	55,5	99,5	75,5
KH	dH°	14,1	5,7	9,5	10,0	10,1	14,7	9,0	14,2	13,9	9,5	13,0	13,7
GH	dH°	14,1	16,8	20,7	18,2	17,1	16,5	14,8	16,0	18,8	17,6	17,1	14,6
NKH	dH°	0,0	11,1	11,2	8,2	7,0	1,8	5,8	1,8	4,9	8,1	4,1	0,9
SO ₄	ppm	-	96,1	96,1	67,3	57,7	28,8	48,1	28,8	38,4	57,3	38,4	19,2
m-Wert	$\frac{\text{mval}}{\text{L}}$	4,7	4,5	4,1	4,0	3,8	4,2	4,0	3,8	4,0	3,3	4,1	4,4
													4,07

Beschaffenheit des Wasser aus dem Quellsystem des Lias bei Geisfeld (55)

Einh.	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	Jahr
KMnO ₄	ppm	41,2	26,5	14,5	9,5	11,4	20,1	15,2	23,2	32,6			21,57
O ₂	ppm	-	9,4	9,2	9,8	4,6	10,1	8,3	8,8	7,0	T		8,40
tw	C°	6,0	6,7	4,7	4,2	4,6	4,5	9,3	10,4	12,4			6,97
SiO ₂	ppm	7,5	6,0	7,0	6,5	6,0	6,0	6,0	7,0	8,0	R	R	6,66
NO ₂	ppm	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1			0,02
Fe	ppm	+	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,8	0,0	O	O	0,01
PO ₄	ppm	0,0	+	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,7	0,7			0,18
LF	mS	117,0	560,0	875,0	650,0	930,0	875,0	115,0	107,0	750,0			892,22
pH	-	7,3	7,4	7,7	7,5	7,7	7,8	7,7	7,8	7,4	C	C	7,58
Ca	ppm	200,4	112,2	192,4	124,2	224,4	198,4	230,5	230,2	150,3			184,81
Mg	ppm	80,2	19,5	68,1	43,8	71,7	64,4	83,9	60,8	35,3	K	K	58,63
Cl	ppm	21,0	21,0	28,5	21,5	35,0	27,5	39,5	45,0	31,5			30,05
KH	dh°	14,0	9,7	11,8	9,2	14,7	13,3	16,8	17,2	13,4	E	E	13,34
GH	dh°	46,5	20,2	42,6	27,4	47,9	42,6	51,5	40,9	29,1			38,74
NKH	dh°	32,5	10,5	30,8	18,2	33,2	29,3	35,7	23,7	15,7	N	N	25,40
SO ₄	ppm	-	96,1	269,1	172,9	307,5	259,5	326,7	192,2	144,2			221,02
m-wert	mval	6,0	3,4	4,2	3,3	5,2	4,7	6,0	6,1	4,8			4,74

1
3
04
1

Meßstation Wendelingraben (56)

Beurteilung des Wassers aus dem Quellsystem im Wendelingraben (= S' Melkendorf)
während der Zeit seiner Ergiebigkeit von Oktober 1974 bis Juni 1975

Einh.	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	Jahr
KMnO ₄	ppm	18,8	18,3	10,4	9,5	7,0	16,9	19,1	30,5	26,2			17,41
O ₂	ppm	-	10,2	10,1	10,5	9,5	11,0	8,1	8,9	6,9			9,40
tw	C°	6,2	6,3	4,0	3,8	5,0	3,9	13,1	9,8	11,4			7,05
SiO ₂	ppm	7,5	6,5	8,0	7,5	7,5	6,0	7,0	8,0	8,0			7,33
NO ₂	ppm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			0,0
Fe	ppm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1			0,02
PO ₄	ppm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,7			0,13
LF	µS	350,0	260,0	275,0	240,0	370,0	280,0	345,0	430,0	310,0			317,77
pH	-	7,2	7,5	7,7	7,5	7,8	7,6	7,7	7,4	7,4			7,53
Ca	ppm	60,1	72,1	56,1	50,1	58,1	64,1	60,1	78,2	58,1			55,43
Mg	ppm	17,0	0,0	17,0	10,9	13,4	12,1	19,5	12,1	19,5			13,38
Cl	ppm	13,5	15,0	16,5	13,5	17,0	13,0	21,5	24,5	20,0			17,16
KH	dH°	4,5	3,1	2,4	3,6	3,4	3,1	4,2	5,3	5,5			3,90
GH	dH°	12,3	10,1	11,8	9,5	11,2	11,8	12,3	13,7	12,6			11,70
NKH	dH°	7,8	7,0	9,4	5,1	7,8	8,7	8,1	8,4	7,1			7,80
SO ₄	ppm	-	57,7	86,5	48,1	67,3	76,9	76,9	76,9	57,7			68,50
m-Wert	$\frac{\text{mval}}{\text{L}}$	1,6	1,1	0,8	1,3	1,2	1,1	1,5	1,9	1,9			1,37

Untersuchungsdaten des Wassers der Dogger-Quellen von Wendelingraben nach
9,0 km Entfernung bei der Meßstation Sendel-Bach (57)

	Einh.	O	N	D	J	F	M	A	M	J	A	S	Jahr	
KMnO ₄	ppm	19,2	27,2	14,2	18,0	11,1	19,4	14,9	13,9	31,9	11,4	7,6	12,0	16,73
O ₂	ppm	-	9,2	10,7	10,8	8,2	11,5	10,8	10,5	8,5	7,9	8,1	-	9,62
tw	°C	6,2	6,8	4,8	4,2	4,6	4,8	9,7	8,1	11,2	14,2	12,9	10,8	8,19
SiO ₂	ppm	6,5	7,0	8,5	6,5	6,5	6,5	5,5	8,0	8,0	8,0	8,0	9,5	7,37
NO ₂	ppm	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,01
Fe	ppm	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,05
PO ₄	ppm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	0,0	3,9	0,43
LF	µS	735,0	520,0	605,0	530,0	650,0	620,0	760,0	870,0	670,0	840,0	845,0	780,0	702,08
pH	-	7,4	7,9	8,0	7,9	8,1	8,2	8,2	8,1	7,7	8,0	8,1	8,2	7,98
Ca	ppm	184,3	136,2	144,3	114,2	138,3	140,3	136,3	154,3	120,2	152,3	152,3	158,3	144,27
Mg	ppm	7,3	14,6	31,6	23,1	42,6	36,5	40,1	47,4	41,3	47,4	52,3	53,5	36,47
Cl	ppm	31,5	28,0	31,5	28,5	30,0	25,5	33,0	39,5	38,5	29,0	34,5	30,0	31,62
KH	dH°	11,8	11,2	8,7	7,8	10,4	9,8	11,2	11,5	8,0	11,8	11,8	11,9	10,49
GH	dH°	27,4	22,4	27,4	21,3	29,1	28,0	28,3	31,9	26,3	32,2	33,3	34,4	28,50
NKH	dH°	15,6	11,2	18,7	13,5	18,7	18,2	17,1	20,4	18,3	20,4	21,5	22,5	18,07
SO ₄	ppm	-	96,1	115,3	105,7	105,7	96,1	105,7	124,9	96,1	105,7	121,9	134,9	109,82
m-wert	$\frac{\text{mval}}{\text{L}}$	4,2	4,0	3,1	2,8	3,7	3,5	4,0	4,1	2,8	4,2	4,2	4,2	3,73

Meßstation Bughof (58)

Beurteilung des Wassers des Sendel-Baches von seinen Quellen im Wendelingraben
bis zu seiner Einmündung in die Regnitz

Einh.	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	Jahr	
KMnO ₃	ppm	17,3	25,3	13,6	20,9	12,0	24,3	16,3	16,3	35,5	13,3	13,9	12,6	17,08
O ₂	ppm	-	10,5	11,3	11,2	11,0	11,1	11,0	10,2	9,3	8,3	8,9	-	10,28
tw	C°	6,2	6,7	4,8	4,3	5,5	4,6	11,1	8,1	11,3	14,9	13,6	11,1	9,19
SiO ₂	ppm	6,0	6,5	7,5	6,5	7,0	6,0	4,0	7,5	7,5	8,5	8,0	11,0	7,16
NO ₂	ppm	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,02
Fe	ppm	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,09
PO ₄	ppm	0,0	0,0	+	+	+	0,0	0,0	1,1	0,0	+	0,0	12,0	1,09
LF	uS	630,0	515,0	525,0	470,0	480,0	520,0	580,0	620,0	495,0	620,0	615,0	660,0	560,83
pH	-	7,4	7,9	8,0	7,9	8,2	7,8	8,5	8,2	7,6	7,8	8,2	8,1	7,96
Ca	ppm	124,2	132,2	116,2	92,2	102,2	112,2	102,2	106,2	88,2	96,2	104,2	100,2	106,36
Mg	ppm	17,0	4,8	36,5	25,5	31,6	19,5	25,5	17,0	19,5	62,0	36,5	43,8	28,26
Cl	ppm	28,5	26,5	31,5	27,5	30,0	24,5	32,5	33,0	26,5	29,5	34,0	28,5	29,37
KH	dh°	9,5	7,6	7,1	6,7	7,6	7,7	8,4	8,1	4,5	8,7	9,2	9,7	7,90
GH	dh°	21,3	19,6	24,6	18,8	21,6	20,2	20,2	22,1	16,8	27,7	23,0	24,1	21,66
NKH	dh°	11,8	13,4	17,5	12,1	14,0	12,5	11,8	14,0	12,3	19,0	13,8	14,4	13,76
SO ₄	ppm	-	105,7	124,9	105,7	115,3	105,7	96,1	115,3	105,7	163,4	115,3	124,9	116,18
m-Wert	$\frac{\text{mval}}{\text{L}}$	3,4	2,7	2,5	2,4	2,7	2,7	3,0	2,9	1,6	3,1	3,3	3,5	2,81

Meßstation Strullendorf (59)

Veränderung des Chemismus und der physikalischen Beschaffenheit des Ziegenbaches
von seinen Quellen bei Zeegendorf bis zur Einmündung in die Regnitz

Einh.	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	Jahr
KMnO ₄	ppm	18,8	30,7	10,4	17,1	13,5	22,3	15,6	17,4	43,9	13,6	18,3	20,39
O ₂	ppm	-	9,4	10,5	11,1	9,9	10,5	9,7	9,6	9,1	8,0	8,9	9,67
tw	C°	7,6	7,6	5,8	5,2	7,0	5,5	11,6	10,2	13,8	18,1	15,8	10,05
SiO ₂	ppm	6,5	6,0	6,5	6,5	5,5	3,5	3,0	6,0	6,0	7,0	6,5	5,91
NO ₂	ppm	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	1,2	1,3	0,5	0,2	0,40
Fe	ppm	+	0,1	+	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,04
PO ₄	ppm	0,4	0,7	0,0	0,0	0,7	0,7	1,3	2,7	2,9	3,3	3,3	1,33
LF	µS	600,0	480,0	530,0	505,0	475,0	495,0	535,0	575,0	310,0	555,0	560,0	520,41
pH	-	7,0	7,9	8,2	8,1	8,4	8,5	8,7	8,0	7,1	8,2	8,2	7,99
Ca	ppm	132,2	116,2	140,3	128,3	126,3	130,3	126,3	116,2	52,1	120,2	110,2	117,23
Mg	ppm	12,1	4,7	19,5	12,2	23,1	0,0	8,5	13,4	21,9	14,6	25,5	16,00
Cl	ppm	30,0	28,5	31,5	32,0	29,5	29,5	28,5	39,5	31,0	35,0	40,5	34,25
KH	dH°	12,3	12,6	11,7	11,2	12,6	12,0	12,9	12,6	7,3	13,7	14,0	12,30
GH	dH°	21,3	17,4	24,1	20,7	23,0	18,2	19,6	19,3	12,3	20,2	21,3	19,60
NKH	dH°	9,0	4,8	12,4	9,-	10,4	6,2	6,7	6,7	5,0	6,5	7,3	7,30
SO ₄	ppm	-	38,4	86,5	67,3	76,9	48,1	48,1	48,1	38,4	48,1	57,7	53,55
m-wert	$\frac{\text{mval}}{\text{L}}$	4,4	4,5	4,2	4,0	4,5	4,3	4,6	4,5	2,6	4,9	5,0	4,39

Lebenslauf

Am 6.12.1940 wurde ich als Sohn des Beamten Djafar GHAWAMI-TEHERANI und seiner Frau Fatemeh in Teheran als iranischer Staatsbürger geboren. Hier bestand ich 1959 an der Pahlavi-Oberschule das Abitur. Im Jahr 1964 kam ich nach Deutschland, in der Absicht, hier zu studieren. Nach einjährigem Industriepraktikum in Hannover immatrikulierte ich mich im Wintersemester 1965/66 an der Universität Erlangen-Nürnberg für das Studienkolleg, das ich im März 1967 mit bestandener Abschlußprüfung beendete. Daraufhin studierte ich ab dem Sommersemester 1967 für vier Semester Elektrotechnik, im Sommersemester 1969 begann ich mit dem Studium der Geologie/Paläontologie. Im Sommersemester 1970 legte ich die diplomgeologische Vorprüfung, am 27.7.1973 die Diplom-Geologen-Hauptprüfung ab.

Im Februar 1974 erhielt ich am geologischen Institut der Universität Erlangen-Nürnberg das Thema zu meiner Dissertation, die ich im April 1976 beendete.

Copy-Center 2000

852 ERLANGEN · Obere Karlstr. 30
Tel. 09131-26197